

Stabilisering av vått arkeologisk tre

Ingrid Louise Engelsen Flatval

Masteroppgave i Gjenstandskonservering

Våren 2006

Universitetet i Oslo

Det Historisk-Filosofiske Fakultet

Institutt for Arkeologi, Konservering og Historiske studier

Oppgaven gir en innføring i stabilisering av vått arkeologisk tre. Det gis en oversikt over hva tre er, hva det består av og hvordan det brytes ned. Oppgaven beskriver hva PEG er, hvordan det brukes til å stabilisere vått arkeologisk tre og hva frysetørring innebærer.

En rekke analyser beskrives, primært for å lokalisere PEG i cellene og undersøke frysetørringsprosessens innvirkning på PEG molekylenes plassering. Metodene som er benyttet er fluorescerende mikroskopi og FT-IR mikroskopi. Undersøkelser knyttet til identifisering av tresort, evaluering av nedbrytningsgrad og vurdering av den valgte behandlingsprosedyrens effektivitet beskrives og resultatene fra analysene blir presentert og kommentert.

Undersøkelsene viser at det hovedsaklig er lavmolekylærvekts PEG som trenger inn i cellenes cellevegg og at lavmolekylærvekts PEG molekyler delvis presses inn i cellenes cellevegg under frysetørringsprosessen. Undersøkelsen indikerer at kunnskap om PEGs plassering kan relateres til en bestemt behandlingsprosedyres effektivitet.

Forord

Denne oppgaven er en masteroppgave skrevet i det nest siste semesteret av konserveringsstudiet ved Universitetet i Oslo. Oppgaven utgjør 30 studiepoeng.

Hensikten med oppgaven har vært å få en forståelse av hva tre er og hvordan vårt arkeologisk tre stabiliserer. Etter å ha satt meg godt inn den tilgjengelige litteraturen, oppdaget jeg en rekke interessante problemstillinger rundt impregneringsmetodene som har blitt benyttet til å stabilisere vårt arkeologisk tre. Valget falt til slutt på å benytte Per Hoffmanns tostegsmetode og undersøke hvor i cellene og treet lavmolekylærvekts PEG og høymolekylærvekts PEG befinner seg samt undersøkt hvorvidt frysetørningsprosessen påvirker plasseringen til de ulike PEG molekylene.

Det har vært spesielt interessant og selv forsøke å utvikle en metodologi og herunder finne mulige måter og angripe problemet på. Hele denne prosessen har vært helt ny for meg og har gitt meg innsikt i behandlingsmetoden så vel som problemer knyttet til gjennomføringen og planleggingen av en slik undersøkelse.

Jeg vil takke alle som tok seg tid til å svare på mine henvendelser. En særlig takk til Anthony Crawshaw ved York Archaeological trust som gav meg nyttige tilbakemeldinger angående mulige analysemetoder. En stor takk til Unn Plahter som gav meg opplæring i å bruke FT-IR mikroskopet, veileder Jeremy Hutchings og konserveringsseksjonen ved HKM for lån av nødvendig utstyr.

Det hadde ikke vært mulig å gjennomføre dette prosjektet uten mine fire nærmeste medstudenter; Ane Marte, Helga, Inga og Monica som har vært en stor støtte og inspirasjonskilde gjennom hele studiet. Tusen takk.

Innholdsfortegnelse

1 Innledning.....	s. 1
2 Tre.....	s. 3
2.1 Treets oppbygning.....	s. 3
2.1.1 Makroskopisk struktur.....	s. 3
2.1.2 Mikroskopisk struktur.....	s. 4
2.2 Kjemisk sammensetning.....	s. 5
2.2.1 Cellulose.....	s. 5
2.2.2 Hemicellulose.....	s. 5
2.2.3 Lignin.....	s. 6
2.2.4 Pektin.....	s. 6
2.2.5 Vann.....	s. 6
2.2.6 Bistoffer.....	s. 6
2.3 Permeabilitet og væskestrøm i tre.....	s. 7
2.3.1 Permeabilitet.....	s. 7
2.3.2 Væskestrøm.....	s. 7
2.4 Nedbrytning.....	s. 7
2.4.1 Kjemisk nedbrytning.....	s. 8
2.4.2 Biologisk nedbrytning.....	s. 8
2.4.3 Mekanisk nedbrytning.....	s. 9
3 PEG.....	s.10
3.1 Om PEG.....	s.10
3.1.1 Struktur og egenskaper.....	s.10
3.1.2 Stabilitet og nedbrytning.....	s.10
3.2 Stabilisering av vått arkeologisk tre med PEG.....	s.11
3.3 Tostegsmetoden.....	s.12
4 Frysetørrking.....	s.14
4.1 Hva er frysetørrking?.....	s.14
4.1.1 Prinsippene bak metoden.....	s.14
4.1.2 Frysetørringsprosessen.....	s.15
4.1.3 Temperatur.....	s.15
4.2 Fordeler og ulemper.....	s.15
4.3 Frysetørrking av PEG.....	s.16
5 Andre konserveringsmetoder	s.17
5.1 Alun.....	s.17
5.2 Lufttørrking.....	s.17
5.3 Løsemidler, voks og harpikser.....	s.18
5.4 In situ polymerisering.....	s.18
5.5 TEOS.....	s.19
5.6 Sukrose.....	s.19
6 Metode.....	s.20
6.1 Utvalg av tre.....	s.20
6.1.1 Kildemateriale.....	s.20

6.1.2 Utvalg av fragmenter.....	s.20
6.2 Behandling.....	s.20
6.2.1 Valg av molekylørstørrelse og konsentrasjon.....	s.20
6.2.2 Bestemmelse av trefragmentenes størrelse.....	s.21
6.2.3 Behandlingsprosedyre.....	s.22
7 Analyse.....	s.23
7.1 Identifisering av tresort.....	s.23
7.2 Evaluering av nedbrytningsgrad.....	s.24
7.2.1 Måling av vanninnhold.....	s.24
7.2.2 De Jongs nåletest.....	s.25
7.2.3 Tetthet.....	s.25
7.2.4 Andre nedbrytningsanalyser.....	s.25
7.3 Diffusjonseksperiment.....	s.26
7.3.1 Diffusjon.....	s.26
7.3.2 Gjennomføring av diffusjonsundersøkelsene.....	s.27
7.3.2.1 Diffusjonsundersøkelse I.....	s.28
7.3.2.2 Diffusjonsundersøkelse II.....	s.28
7.3.3 Diffusjonsmåling.....	s.28
7.4 Vurdering av behandlingsprosedyrens effektivitet.....	s.29
7.5 Lokalisering av PEG.....	s.30
7.5.1 Fluoriserende mikroskopi.....	s.30
7.5.1.1 Fremgangsmåte.....	s.30
7.5.1.2 Fargeprosedyren.....	s.31
7.5.1.3 Fremstilling av permanente snitt.....	s.31
7.5.1.4 Konstruksjon av hanskeboks.....	s.31
7.5.2 FT-IR.....	s.32
7.5.2.1 Fremgangsmåte.....	s.32
7.6 Vurdering av frysetørkingsprosessens innvirkning på PEG.....	s.32
7.6.1 Fluoriserende mikroskopi.....	s.32
7.6.1.1 Fremgangsmåte.....	s.33
7.6.2 FT-IR.....	s.33
7.6.2.1 Fremgangsmåte.....	s.33
7.7 analysemetoder som ikke lot seg gjennomføre.....	s.33
8. Resultater.....	s.35
8.1 Identifisering av tresort.....	s.35
8.2 Evaluering av nedbrytningsgrad.....	s.36
8.2.1 Fragment I.....	s.36
8.2.2 Fragment II.....	s.36
8.2.3 Fragment III.....	s.37
8.2.4 Fragment IV.....	s.37
8.3 Diffusjonseksperiment.....	s.38
8.3.1 Diffusjonsundersøkelse I.....	s.38
8.3.2 Diffusjonsundersøkelse II.....	s.39
8.4 Vurdering av behandlingsprosedyrens effektivitet.....	s.40
8.5 Lokalisering av PEG.....	s.41
8.5.1 Fluorescerende mikroskopi.....	s.41
8.5.2 FT-IR.....	s.42
8.6 Vurdering av frysetørkingsprosessens innvirkning på PEG.....	s.45

8.6.1 Fluoriserende mikroskopi.....	s.45
8.6.2 FT-IR.....	s.46
9 Diskusjon.....	s.49
9.1 Identifisering av tresort.....	s.49
9.2 Evaluering av nedbrytningsgrad.....	s.49
9.3 Diffusjonseksperiment.....	s.50
9.3.1 Diffusjonsundersøkelse I.....	s.50
9.3.2 Diffusjonsundersøkelse II.....	s.50
9.4 Vurdering av behandlingsprosedyrens effektivitet.....	s.51
9.5 Lokalisering av PEG.....	s.52
9.5.1 Fluorescerende mikroskopi.....	s.52
9.5.2 FT-IR.....	s.54
9.6 Vurdering av frysetørkingsprosessens innvirkning på PEG.....	s.56
9.6.1 Fluorescerende mikroskopi.....	s.56
9.6.2 FT-IR.....	s.56
10 Konklusjon.....	s.57
11 Referanser.....	s.59

Vedlegg A: Tre: struktur, sammensetning og nedbrytning.....	s.65
Fig. 1: Treets makroskopiske struktur	
Fig. 2: Treets makroskopiske struktur	
Fig. 3: De tre snitt	
Fig. 4: De tre snitt	
Fig. 5: Cellens struktur	
Fig. 6: Cellens struktur sett ovenifra	
Fig. 7: Cellulose, formel og struktur	
Fig. 8: Cellulose, amorfe og krystallinske områder	
Fig. 9: Bestanddelene i hemicellulose	
Fig.10: Bestanddelene i hemicellulose	
Fig.11: Fra stamme til kjemisk sammensetning	
Fig.12: Hydrolytisk nedbrytning av cellulose	
Fig.13: Hydrolytisk nedbrytning av cellulose	
Vedlegg B: PEG: Struktur og nedbrytning.....	s.72
Fig. 1: PEGs struktur	
Fig. 2: Polymeriseringsprosessen til PEG	
Fig. 3: Nedbrytning av TEG	
Vedlegg C: Frysetørring.....	s.74
Fig. 1: Tilstanddiagram for vann	
Vedlegg D: Oversikt over gjenstandene.....	s.75
Vedlegg E: Fotografi av funnene/gjenstandene.....	s.76
Fig. 1: Fragment 1	
Fig. 2: Fragment 1	
Fig. 3: Fragment 2	
Fig. 4: Fragment 2	
Fig. 5: Fragment 3	
Fig. 6: Fragment 3	
Fig. 7: Fragment 4	
Fig. 8: Fragment 4	
Vedlegg F: Metode.....	s.80
Vedlegg G: Diffusjon.....	s.81
Fig. 1: Diffusjon gjennom en semipermeabel membran	
Fig. 2: Bilde av diffusjonenshetten i diffusjonsundersøkelse II	
Vedlegg H: Bruk av håndholdt refraktometer.....	s.82
Vedlegg I: Hanskeboks.....	s.83
Fig. 1: Hanskebokse sett fra forsiden	
Fig. 2: Hanskebokse sett fra innsiden	
Vedlegg J: FT-IR spektrum, PEG 400 og PEG 4000.....	s.84
Fig. 1: FT-IR spektrum, PEG 400	
Fig. 2: FT-IR spektrum, PEG 4000	

Vedlegg K: Bruk av FT-IR mikroskop.....	s.85
Vedlegg L: SEM/SEM-EDX.....	s.86
Vedlegg M: Identifikasjon av tre.....	s.87
Fig. 1: Tverrsnitt av eik, nytt tre	
Fig. 2: Tverrsnitt av eik, arkeologisk tre	
Fig. 3: Radialsnitt av eik, nytt tre	
Fig. 4: Radialsnitt av eik, arkeologisk tre	
Fig. 5: Tangentialsnitt av eik, nytt tre	
Fig. 6: Tangentialsnitt av eik, arkeologisk tre	
Vedlegg N: Diffusjonsgrafer, diffusjonsundersøkelse II.....	s.90
Fig. 1: Diffusjonsenhet I	
Fig. 2: Diffusjonsenhet II	
Fig. 3: Diffusjonsenhet III	
Vedlegg O: Fluorescerende mikroskopi.....	s.91
Fig. 1: 1A, fluorescerende mikroskopi	
Fig. 2: 1B, fluorescerende mikroskopi	
Fig. 3: 1C, fluorescerende mikroskopi	
Fig. 4: 1D, fluorescerende mikroskopi	
Fig. 5: 1E, fluorescerende mikroskopi	
Fig. 6: 1F, fluorescerende mikroskopi	
Fig. 7: 2A, fluorescerende mikroskopi	
Fig. 8: 2B, fluorescerende mikroskopi	
Fig. 9: 2D, fluorescerende mikroskopi	
Fig.10: 2E, fluorescerende mikroskopi	
Fig.11: 2F, fluorescerende mikroskopi	
Fig.12: 3B, fluorescerende mikroskopi	
Fig.13: 3C, fluorescerende mikroskopi	
Fig.14: 3D, fluorescerende mikroskopi	
Fig.15: 3E, fluorescerende mikroskopi	
Fig.16: 3F, fluorescerende mikroskopi	
Vedlegg P: Produktinformasjon.....	s.100

1 Innledning

En rekke forskjellige metoder og materialer har blitt benyttet til å behandle vått arkeologisk tre. I 1986 lanserte Per Hoffmann en tostegs impregneringsmetode som benyttet *polyetylenglykol* (PEG), med ulik molekylærvekt til å stabilisere vått arkeologisk tre. Metoden innebærer at treet først impregneres med lavmolekylærvekts PEG (PEG 200-600) som trenger inn i cellenes cellevegg og binder seg til cellulosen. Deretter impregneres treet med høymolekylærvekts PEG (PEG 1500-6000) som fyller de store hulrommene. Dette gir ytterligere hold til treet. Metoden baseres på at lavmolekylærvekts PEG, som ikke har bundet seg til cellulosen, eller har blitt fanget i små hulrom, diffunderer ut av treet samtidig som høymolekylærvekts PEG diffunderer inn (Hoffmann 1986). Hoffmanns tostegsmetode har ofte blitt benyttet som en forbehandling til frysetørrking og har ved en rekke anledninger vist å gi svært gode resultater (Hoffmann 1986; Hoffmann 2001; Meyer 1996; Sæterhaug & Turner Walker 2001; Watson 1996a).

Det har i løpet av de siste årene blitt foretatt en rekke undersøkelser av frysetørringsegenskapene til PEG samt materialets stabilitet. Ny forskning har vist at lavmolekylærvekts PEG ikke lar seg frysetørke og det er uklart hvorvidt frysetørringsprosessen presser lavmolekylærvekts PEG inn i celleveggen eller om molekylene diffunderer inn i celleveggen før treet har blitt frysetørret (Jensen & Schnell 2004; Strætkværn 2001). Det foreligger heller ingen beviser for at lavmolekylærvekts PEG faktisk binder seg til cellulosen. Dette har resultert i at kun høymolekylærvekts PEG stadig oftere har blitt benyttet til å stabilisere tre som senere skal frysetørres.

Hvor vellykket en konserveringsprosess er, avhenger av en presis kunnskap om distribusjonen av det diffunderende materialet (Jensen 1996). Målet med denne oppgavens har vært å undersøke hvor i cellene og treet lavmolekylærvekts PEG og høymolekylærvekts PEG befinner seg etter en tostegbehandling etterfulgt av frysetørring. Hvorvidt frysetørringsprosessen påvirker plasseringen av de ulike PEG molekylene har også blitt undersøkt. Metodene som ble benyttet var hovedsaklig analyse med optisk fluoriserende av på forhånd fargede tresnitt og FT-IR mikroskopi. Oppgaven har kun undersøkt behandlede eikefragmenter, da trefunnene som ble stilt til disposisjon for undersøkelsen hovedsaklig besto av eik. Undersøkelsene som ble gjennomført kan anses som anvendt konserveringsforskning da det primære fokuset var å foreta undersøkelser som var rettet mot

et spesifikt praktisk mål (Larsen 1998), i dette tilfellet å fremskaffe kunnskap om distribusjonen av PEG, og relatere denne kunnskapen til effektiviteten til en bestemt behandlingsprosedyre.

For å kunne behandle temaet skikkelig, har det vært nødvendig å tilegne seg tilstrekkelig bakgrunnskunnskap om materialet som behandles; tre og hva det behandles med; PEG/frysetørring. En god forståelse av hva tre er, hva det består av og hvordan det brytes ned var viktig for å forstå hvordan konserveringsprosessen stabiliserer og påvirker det nedbrutte treet. Det har også vært nødvendig og sette seg inn i hva PEG er og hva frysetørring innebærer for å forstå de prosessene som undersøkes. Dette har hovedsaklig omfattet grundige litteratursøk i relevante konserveringsdatabaser.

For å kunne sette analyseresultatene inn i en sammenheng og evaluere deres holdbarhet måtte det utvikles en generell metodologi. En rekke beslutninger måtte tas angående behandlingsprosedyre og fremgangsmåte. Den tilgjengelige tiden var her en begrensende faktor og det lot seg derfor ikke gjennomføre å undersøke mer enn en behandlingsprosedyre. Det bør nevnes at Hoffmans tostegsmetode finnes i en rekke varianter og at ulike molekylærvekter og konsentrasjoner tidligere er blitt og blir benyttet. Det har heller ikke latt seg gjøre å undersøke eventuelle variasjoner mellom ulike tresorter da eik er den eneste tresorten som har blitt undersøkt i denne undersøkelsen.

Analysene som ble gjennomført omfattet identifisering av tresort, evaluering av nedbrytningsgrad, diffusjonsanalyser samt analyser knyttet til oppgavens hovedproblemstilling lokalisering av PEG og frysetørringsprosessens innvirkning på PEG molekylene plassering.

2 Tre

2.1 Treets oppbygning

Trær deles inn i to hovedgrupper, bartrær (*gymnosperms*) og løvtrær (*angiosperms*). Siden denne oppgaven har tatt for seg stabilisering av eik som er et løvtre, vil kun oppbygningen av løvtrær gjennomgås. Oppbygningen av bartrær vil i nevnes kort i enkelte sammenhenger for å få frem forskjellene mellom de to hovedgruppene.

2.1.1 Makroskopisk struktur

Et tre består av tre deler; krone, stamme og rot. Det er stammen som er primærkilden til tre (Hoadley 1980) og derfor vil kun strukturen til denne delen gjennomgås. *Se vedlegg A, fig. 1-2 for illustrasjon av treets makroskopiske struktur.*

Ytterst på stammen finnes barklaget og innenfor barklaget ligger kambiet. Kambiet kalles også for vekstlaget og er et mikroskopisk lag av levende celler. Treet vokser ved at det hvert år dannes nye celler inn mot sentrum av stammen, etter et år dør cellene og nye dannes. Cellene deles opp i morceller på innsiden og silvev på utsiden (Hoadley 1980; Jørgensen 1989, Van der Meulen 1999).

Innenfor kambiet ligger yteveden. Her finner transport av væske og næringssalter sted. Dernest følger kjerneveden som består av døde celler. Kjerneveden har ingen fysiologisk funksjon, men inneholder giftige ekstraktiver også kjent som polyfenoliske forbindelser. Kjerneveden dannes etter at de ytterste årringene er brede nok til at vanntransporten kan begynne. Det første steget i kjerneveddannelsen er at vannledningsbanene blokkeres, deretter vokser det ut tyller i karene.¹ Hos bartrærne derimot, klebes porene igjen med harpiks (Jørgensen 1989; Haygreen & Bowyer 1996).

Innenfor kjerneveden finnes margen som består av dødt vev. Margen er stort sett rund, men hos eik er den femkantet (Van der Meulen 1999).

¹ Tyller dannes i karene og er ballongaktige utposninger fra celleveggens poremembran som trenger inn i karcellen.

Årringene representerer den årlige veksten og består av to lag; vårved og sommerved. Vårveden formes først og består av store tynnveggede celler grunnet den rike tilgangen på vann og næringsstoffer. Sommerveden består av tette tykkveggede celler (Haygreen & Bowyer 1996). Årringene danner grunnlaget for aldersbestemmelsen av tre, noe som også omtales som dendrokronologi.

Tre består i tillegg av vannrette margstråler som går fra kambiet og inn til margen. De sørger for den horisontale væsketransporten. Margstrålene forhindrer dimensjonelle endringer i den radiale retningen. Dette resulterer i at tre krymper mindre i den radiale enn den tangentielle retningen når det tørker. Tre er slik sett et anisotropisk materiale, det vil si at det beveger seg ulikt i de forskjellige retningene (Haygreen & Bowyer 1996).

2.1.2 Mikroskopisk struktur

For å beskrive treets mikroskopiske struktur kan man bruke de tre snitt; tverrsnittet, radialsnittet og tangentialsnittet. Dette gjør det enklere og beskrive de ulike cellene, cellenes struktur samt beliggenhet. Cellene er arrangert i ett loddrett system som virker mellom roten og kronen og i et vannrett system som virker mellom margen og barken. *Se vedlegg A, fig. 3-4 for tegning av de tre snittene.*

Løvtrær består av fibertrakeider, fiberceller, kar, parenkymceller og epitelceller. Alle disse celletypene finnes i det loddrette systemet, i det vannrette systemet finnes kun de to sistnevnte typene (Jørgensen 1989). Fibertrakeidene fungerer som avstivning, det samme gjelder for fibercellene. Fibercellene regnes som det egentlige avstivende systemet hos løvtrærne. Karene utgjør det loddrette vannrørsystemet. Karenes fordeling og størrelse varierer hos ulike trær, f. eks eik er ringporet, det vil si at vårveden består av store kar, mens sommerveden består av mindre kar. Parenkymcellene er levende celler som fungerer som depot for næringsstoffer, mens epitelcellene utskiller harpiks og flyktige oljer. Bartrærne består kun av tre typer celler, trakeidceller, parenkymceller og epitelceller (Jørgensen 1989).

Selve cellen består av en midtlamell, en cellevegg og en cellelumina. Celleveggen består av en primærvegg og en sekundærvegg. Sekundærveggen består igjen av tre ulike lag. Den kjemiske sammensetningen til de ulike delene av cellen varierer. I celleveggene finnes det porer som sørger for at vann og næringsstoffer beveger seg fra celle til celle. Man skiller mellom to typer porer; ringporer og simple porer. I tillegg finnes det såkalte kryssfeltsporer

som er halvparten ringpore og halvparten simpelpore. Denne poretypen finnes der hvor de loddrette cellene krysser de vannrette (Jørgensen 1989). *Se vedlegg A, fig. 5-6 for illustrasjon av cellens oppbygning.*

2.2 Kjemisk sammensetning

Tre består av stoffene cellulose, hemicellulose, pektin, ligning og vann samt en rekke andre bistoffer.

2.2.1 Cellulose

Polysakkaridet cellulose utgjør 40-50% av tørt tre og er en lineær polymer satt sammen av monomeren glukose. Glukose har den generelle formelen $C_6H_{12}O_6$. Glukoseenhetene, opptil 12000 stk, slutter seg sammen til lange kjeder som ligger tett inntil hverandre. Dette skyldes dannelsen av hydrogenbindinger mellom hydroksylgruppene (OHgrupper) på glukosemolekylene. Hvert glukosemolekyl har tre hydroksylgrupper. OH gruppene gjør cellulosen hygroskopisk, det vil si at den kan reagere med vann. De lange glukosekjedene kalles også for fibriller og består av krystallinske og amorfe områder. I de krystallinske områdene holdes kjedene parallelt sammen i en tredimensjonal struktur, i de amorfe områdene har kjedene en mer tilfeldig arrangement. De krystallinske områdene utgjør ca 60% av fibrillene (Jørgensen 1989:9-12; Mills & White 1994:73). Cellulose regnes for å være plantecelleveggs viktigste stoff. *Se vedlegg A, fig. 7-8 for illustrasjon av cellulose, glukosemolekyler og cellulosekjedenes organisering.*

2.2.2 Hemicellulose

Hemicellulose er et polysakkarid bygd opp av en rekke ulike monomere, hovedsaklig hexose og pentose, men også mannose, gallaktose, xylose arabinose, glukose og galakturonsyre. I motsetning til cellulose som er en lineær og krystallinsk polymer, er hemicellulose amorf og forgrenet. Hemicellulose har mange frie hydroksylgrupper som kan danne bindinger til vann og cellulose. Hemicellulose består av kortere kjeder som fyller ut rommet mellom cellulosekjedene og stabiliserer og holder cellulosenettverket sammen. Hemicellulosen forhindrer og at cellulosen blir for krystallinsk. Hemicellulose finnes i plantenes cellevegg og utgjør ca 25-40% av tørt tre (Jørgensen 1989:13; Zabel & Morrell 1992:150). *Se vedlegg A, fig. 9-10 for illustrasjon av hemicellulose.*

2.2.3 Lignin

Lignin er et forgrenet polysakkarid som består av oksygen, karbon og hydrogen. Det er en heterogen, amorf polyfenolisk polymer som er forskjellig i løvtrær og bartrær. Lignin inneholder hydroksylgrupper som binder seg til hemicellulose. Lignin holder cellulosenettverket sammen samtidig som det gir styrke og beskyttelse til trestammen (Hoffmann 1981; Jørgensen 1989. 15-16; Zabel & Morrell 1992:150).

2.2.4 Pektin

Pektin er et polysakkarid og utgjør en svært liten del av de utvokste cellene. Pektin har hovedsaklig kun betydning for voksende celler (Jørgensen 1989:13).

2.2.5 Vann

Grunnet cellulosen, hemicellulosen og ligninets polare hydroksylgrupper er også vann en naturlig del av den kjemiske sammensetningen. Vann er et polart molekyl som består av to hydrogenatomer og et oksygenatom som bindes sammen med en kovalent binding (Jørgensen 1989).²

2.2.6 Bistoffer

Bistoffene er hovedsaklig organiske som harpikser, balsam og flyktige oljer og giftige ekstraktiver, men det finnes også uorganiske stoffer, blant annet ulike askestoffer. Bistoffene er ikke celleveggsdannende og finnes stort sett i treets kjerneved (Jørgensen 1989; Haygreen & Bowyer 1996).

Se vedlegg A, fig. 11 for oversiktlige tegning av treets oppbygning, fra stamme til kjemisk sammensetning.

² Kovalent binding er en binding mellom atomer i et molekyl, hvor atomene bindes sammen ved å dele elektroner i det ytterste skallet.

2.3 Permeabilitet og væskestrøm i tre

2.3.1 Permeabilitet

Permeabilitet refererer til en væskes mulighet til å strømme gjennom treet (Siau 1971:9). Løvtrærnes permeabilitet i den langsgående retningen, avhenger av konsentrasjonen og radiusen til karene samt væskens viskositet.

Treets kjerneved er kjent for å være mye mindre permeabel enn treets yteved. Dette skyldes blant annet tilstedeværelsen av bistoffene nevnt i kapittel 2.2.6 som sperrer for væsketransporten. Tyller i karene kan også påvirke treets permeabilitet (Haygreen & Bowyer 1996, Siau 1971).

2.3.2 Væskestrøm

Væskestrømmen i løvtrær skjer hovedsaklig gjennom de åpne karene og i den langsgående retningen til treet. Det er porene som styrer væskestrømmen i treet (Grattan 1987:66). Den langsgående væskestrømmen i tre er funnet å være 10000:1 eller mer i forhold til den tverrgående væskestrømmen (Siau 1971:110).

Det eksisterer tre ulike typer væskestrømmer; viskøs væskestrøm, turbulent væskestrøm og Knudsens væskestrøm. Viskøs væskestrøm er en jevn strøm, men ettersom strømhastigheten øker bryter den viskøse strømmen ned og det dannes forstyrrelser i væsken. Dette resulterer i den andre typen væskestrøm; turbulent væskestrøm. Hastigheten til den turbulente væskestrømmen er ofte mye høyere enn den viskøse væskestrømmen. Turbulent væskestrøm er derfor mer vanlig i og rundt de små poreåpningene (Siau 1971:46). Knudsens væskestrøm forekommer i kun gasser og er derfor ikke aktuell i vått arkeologisk tre.

2.4 Nedbrytning

Nedbrytning kan grovt deles inn i tre ulike kategorier; kjemisk, biologisk og mekanisk (Cronyn 1990). Kun nedbrytning av vått arkeologisk tre gjennomgås og det er her viktig og huske på at treet kan og vil ha blitt nedbrutt også mens det har vært i bruk og dermed før selve deponeringen.

2.4.1 Kjemisk nedbrytning

Kjemiske nedbrytning av tre i vann skjer hovedsaklig ved hydrolyse. Med hydrolyse menes nedbrytning forårsaket av vann og innebærer spalting av stoffer grunnet vannopptagelse (Cronyn 1990, Jørgensen 1989). Slik brytes makromolekyler som cellulose og hemicellulose ned til sine opprinnelige byggeblokker. Lignin er sterkere bundet sammen enn både cellulose og hemicellulose og er derfor et mye mindre vannløselig materiale. Lignin brytes saktere ned og arkeologisk tre innholder derfor ofte mer lignin enn cellulose og hemicellulose (Cronyn 1990). Treets porøsitet påvirker nedbrytningsprosessen. Porøse tresorter som bøk og or vanntrekkes svært raskt, mens harde og lite porøse tresorter som eik bevares mye bedre. De ytre delene av treet er ofte nedbrutt, mens den indre kjernen kan være intakt. Sure miljøer og høye saltkonsentrasjoner kan forårsake ytterligere nedbrytning av treet (Blanchette & Hoffmann 1993). *Se vedlegg A , fig. 12-13 for kjemisk nedbrytning av cellulose.*

2.4.2 Biologisk nedbrytning

Biologisk nedbrytning av tre innebærer ofte bakteriell nedbrytning av cellulose og hemicellulose. Bakteriene bryter først ned polysakkaridene som er bundet svakest sammen. Bakteriene angriper kun de materialene som de kan bruke til sitt stoffskifte. Svært få bakterier kan benytte lignin i stoffskiftet og materialet er derfor svært motstandsdyktig mot biologisk nedbrytning. Bakteriene bryter først ned karbohydratenes amorfe områder da disse er enklere å fordøye enn de krystallinske områdene. Bakteriene etterlater seg treet i en porøs og svak tilstand, med en cellevegg som hovedsaklig består av lignin. (Andersen 1993; Blanchette 2000; Hoffmann 1981). Tilstedeværelsen av bakterier og mikroorganismer kan kobles til tilgangen på oksygen, desto mindre oksygen, desto færre bakterier. Det eksisterer imidlertid bakterier som kan leve under svært lave oksygennivåer, som ulike erosjonsbakterier og sulfatreduserende bakterier. Foruten disse bakteriene kan også tunneldannende og hulromdannende bakterier forekomme (Blanchette & Hoffmann 1993). Bakteriell nedbrytning kan klassifiseres som kjemisk nedbrytning da det er enzymene bakteriene produserer, som bryter ned karbohydratene. Nedbrytningsforløpet har klare likheter til den hydrolytiske nedbrytningsprosessen (Andersen 1993:25).

Det bør nevnes at de giftige ekstraktene som finnes i treets kjerneved kan være med å forhindre den bakterielle nedbrytningen av treet (Haygreen & Bowyer 1996).

2.4.3 Mekanisk nedbrytning

Mekanisk nedbrytning er ofte et resultat av de foregående nedbrytningsprosessene eller det kan komme av tunge overliggende lag som resulterer i at gjenstandene sprekker opp, knekker eller mister sin form (Cronyn 1990).

3 PEG

3.1 Om PEG

3.1.1 Struktur og egenskaper

PEG er et vokslignende materiale som polymeriseres fra monomeren etylenoksid. Strukturen består av repeterende enheter av etylen bundet sammen av oksygen som danner eterbindinger mellom etylengruppene. På hver ende av polymerkjeden finnes det en OH gruppe (Grattan & Clarke 1987). *Se vedlegg B, fig. 1 for illustrasjon av strukturen til PEG.*

PEG finnes i en rekke ulike graderinger som skilles på grunnlag av molekylærvekt. PEG 400 har en molekylærvekt på 400, mens PEG 4000 har en molekylærvekt på 4000. PEG med molekylærvekt 200-600 finnes som væske, mens PEG med molekylærvekt fra 600-35000 er faste vokslignende stoffer (Geymayer m. fl. 1990: 84). PEG ble produsert kommersielt i 1939, men ble ikke før i 1949 benyttet til å impregnere tre. I 1956 ble PEG beskrevet brukt til stabilisering av vått arkeologisk tre (Grattan & Clarke 1987:169). Viktige egenskaper ved PEG er at det kan løses i vann og at det er lite skadelig å arbeide med. Dette selv om basismonomeren etylenoksid er en svært reaktiv og giftig gass (Geymayer m. fl 1990:83)

PEG produseres ved at etan reagerer med oksygen og slik danner gassen etylenoksid. Ringstrukturen som dannes, åpnes lett og danner langkjedede molekyler hvor $\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-O}$ gruppen repeteres og til slutt resulterer i polymeren PEG. *Se vedlegg B, fig. 2 for illustrasjon av polymeringsprosessen.*

3.1.2 Stabilitet og nedbrytning

Det har i løpet av de siste tjue årene blitt foretatt undersøkelser av nedbrytningen til PEG, særlig oksideringsprosessen. Oksidering av PEG innebærer dannelsen av frie radikaler som resulterer i ustabile hydrogenperoksider. Et resultat av oksideringsprosessen er at PEG kjedene kortes ned og får en lavere molekylærvekt. Blant biproduktene som dannes er syre og formaldehyd (Geymayer m. fl. 1990; Glastrup 1996),

Undersøkelser foretatt av Geymayer m. fl. (1990:83-89) viste at høymolekylær PEG er mer utsatt for oksidasjon enn lavmolekylær PEG. Høye temperaturer, store overflater samt ioner

fra tungmetaller akselererte aldringsprosessen. Undersøkelsen viste også at antioksidanter kunne forhindre nedbrytningen (Geymayer m. fl. 1990:86). Senere forskning viste imidlertid at dette ikke stemte (Glastrup 1996:381).

Det eksisterer en viss usikkerhet rundt hvordan selve nedbrytningen finner sted. Mens man tidligere har antatt at oksidasjonen resulterer i tilfeldig kjedebrytning, har nyere undersøkelser vist at nedbrytningen finner sted ved kjedenes ender og derfor resulterer i en forkortning av PEG kjedene. Undersøkelser av 25 år gammel PEG viste at gammel PEG var svært lik ny PEG, men at selve molekylærvekten var lavere. PEG som tidligere hadde en molekylærvekt på 4000 hadde nå en molekylærvekt på 3500. Dette støtter opp under antagelsen om at oksidasjonen skjer på molekylets ender ved at en og en etylengruppe fjernes (Glastrup 1996: 377-382). *Se vedlegg B, fig. 3 for illustrasjon av nedbrytningsforløpet til TEG, et modellmolekyl som er svært lik PEG.*

Undersøkelser har vist at også lys bryter ned PEG og at vann, jernklorider, kobolt og nikkel akselerer fotooksidasjonen, (Bouquin & Crawshaw 2004:627).

Lavmolekylærvekts PEG (200-600) regnes for å være svært hygroskopiske, det vil si at de lett trekker til seg vann. Behandling av vått arkeologisk tre med lavmolekylærvekts PEG kan resultere i at også treet blir hygroskopisk. Om det behandlede treet utsettes for fuktsykluser kan treet sprekke opp. Desto lavere molekylærvekt PEG har, desto mer hygroskopiske regnes det for å være (Hoffmann 2001).

3.2 Stabilisering av vått arkeologisk tre med PEG

PEG av en rekke forskjellige molekylærvekter har blitt og blir benyttet til å impregnere og stabilisere vått arkeologisk tre. Målet med impregnering av tre er å fylle hulrommene i treet med en materiale som gir strukturell og mekanisk støtte til gjenstanden. Ved å impregnere treet erstatter man vannet og unngår derfor kollaps under tørking.

Stabilisering av vått arkeologisk tre oppnås på to forskjellige måter, enten ved fullstendig impregnering, eller ved utfylling også kjent som svelling. Impregnering innebærer at alle

hulrommene i treet fylles med stabiliseringsmaterialet. Utfylling innebærer en svelling av celleveggen og en utfylling av mikroporene i treet (Grattan & Clarke 1987:165). Utfylling er en hurtigere konserveringsprosess enn fullstendig impregnering. Dette skyldes at materialmengden som trengs er mye mindre enn for fullstendig impregnering og at behandlingstiden dermed kortes betraktelig ned. Denne metoden benyttes ofte som en forbehandling til frysetørring (Grattan & Clarke 1987:165).

Fullstendig impregnering med PEG med samme molekylærvekt var den første metoden å PEG behandle treet med. Fullstendig impregnering med PEG 3350 var en av de tidligste PEG metodene som ble utviklet (Grattan & Clarke 1987). De berømte Skuldevevskipene funnet i Roskildefjorden, Danmark, ble behandlet med denne metoden (Christensen 1970). Dessverre viste det seg at treets kjerne og særlig kjerneveden ikke ble impregnert skikkelig. I konserveringen av det svenske Wasa skipet ble derfor PEG 1450 brukt for å stabilisere tregjenstandene funnet i skipet. Grunnen til at PEG 1450 ble benyttet i stedet for PEG 3350, var at PEG med lavere molekylærvekt diffunderer hurtigere og lengre inn i treet.

PEG 540 er en PEG blanding som består av PEG 300 og PEG 1540. Komposisjonen er fordelt slik at blandingen til slutt får en gjennomsnittlig molekylærvekt på 540. Denne metoden har blitt benyttet ved en rekke anledninger og tømmer fra Machaultskipet (Jensen & Murdock 1989), har blant annet blitt behandlet med en slik PEG blanding.

Påføringsmetodene for PEG kan også variere. Selv om impregneringsbad regnes som det mest vanlige har PEG også blitt sprayet på gjenstanden. Ved å spraye PEG på treet, trenger PEG molekylene inn i de innerste delene av treet og hver gang treet sprayes mettes treet med PEG (Lan 1998). Wasaskipet er et eksempel hvor denne påføringsmetoden er blitt brukt (Roth & Malmberg 2004).

3.3 Tostegs metoden

I 1986 lanserte Per Hoffmann en tostegs impregneringsmetode. Metoden innebærer at treet først blir impregnert med lavmolekylærvekts PEG, deretter i et separat bad i PEG med høy molekylærvekt. Behandlingen bygger på teorien om at overflødig lavmolekylærvekts PEG diffunderer ut i det treet legges i et bad med høymolekylærvekts PEG. Dette er PEG som

verken har blitt fanget i de små hulrommene i cellene eller har dannet hydrogenbindinger til cellulosen. Slik konsolideres lavmolekylærvekts PEG selve celleveggen, mens den høymolekylære PEG konsoliderer de større hulrommene og gir ytterligere hold til treet (Hoffmann 1986). Som tidligere nevnt eksisterer det ingen beviser for at det virkelig dannes hydrogenbindinger mellom PEG og cellulose. Ideelt sett er det etter en slik tostegs behandling lite hygroskopisk lavmolekylær PEG tilbake i treet. Metoden er særlig egnet for vått arkeologisk tre med varierende nedbrytningsgrad (Hoffmann 1986) og tostegsmetoden har ofte blitt benyttet som en forbehandling til frysetørring.

4 Frysetørring

4.1 Hva er frysetørring?

4.1.1 Prinsippene bak metoden

Ved normal lufttørring av vått arkeologisk tre dannes det i trestrukturens kapillarer kapillærkrefter som gjør at det skapes et undertrykk inne i treet. Dette trykket er sterkere enn treet egen styrke og resulterer i at treet kollapser under tørring. En måte å unngå dannelsen av kapillærkrefter og undertrykk i treet er å benytte frysetørring (Andersen 1993:60).

Frysetørring innebærer at vannet fordampes direkte fra dets faste form, is, til gassform. Dette er også kjent som sublimering. For at vann skal sublimeres må derfor reaksjonene mellom de ulike tilstandsformene væske, fast stoff og gass styres. Denne prosessen kan beskrives visuelt gjennom et tilstandsdiagram for vann. *Se vedlegg C, fig 1 for illustrasjon.*

Væsker kjennetegnes av at molekylerne kan bevege seg mellom hverandre samtidig som de er såpass tiltrukket av hverandre at de kan opprettholde en felles overflate. Et fast stoff er enten krystallinsk eller amorf. I et krystallinsk stoff er molekylerne bundet tett sammen i et ordnet tredimensjonalt nettverk. I et amorf stoff har molekylerne en mer uordnet struktur. Dette blir også omtalt som et stoffs glassfase. I en gass befinner molekylerne seg så langt fra hverandre at tiltrekningskreftene mellom dem er minimale (Andersen 1993:63-65).

Frysetørringsprosessen drives frem hovedsaklig av to faktorer, den ene er at vanndampen fjernes, den andre er tilførsel av energi. Vanndampen beveger seg fra et varmt til et kaldt område og det er derfor nødvendig å opprettholde en temperaturforskjell mellom selve frysetørkingskammeret hvor sublimasjonen finner sted og kondenseringskammeret hvor vanndampen kondenseres. Desto større temperaturforskjellen er, desto hurtigere er frysetørkingsprosessen (Andersen 1993). Frysetørringsprosessen stiger ytterligere ved at den atmosfæriske luften fjernes fra systemet og at man slik skaper et vakuum, derav navnet vakuumfrysetørring. Dette skyldes primært at man unngår sammenstøt mellom vannmolekyler og andre uønskede molekyler som senker diffusjonshastigheten til vanndampen (Andersen 1993).

4.1.2 Frysetørningsprosessen

Frysetørningsprosessen består av tre delprosesser; nedfrysning, sublimasjon og desorpsjon. Under nedfrysningen går væsken over til sin krystallinske form altså is. Dette skjer ved at det dannes krystallkim hvorpå det avsettes lag på lag med molekyler. Krystallkim er en sammenklumping av molekyler som har en ordnet krystallstruktur. Ettersom temperaturen senkes dannes det mer og mer is, og desto mindre vann.

I sublimasjonsfasen fordamper det faste stoffet. Sublimasjon betegner kun fordamping av krystallinsk materiale. Desorpsjon innebærer at det resterende vannet, som stort sett utgjør mellom 7% og 15% i forhold til gjenstandens vekt, blir fjernet. Dette er vann som er bundet til enten trestrukturen eller til impregneringsmaterialet. Sublimasjon- og desorpsjonsfasen er også kjent som primær og sekundær tørking og forekommer i realiteten samtidig (Adams 1994:50). En vellykket frysetørring er derfor avhengig av at både vann og impregneringsmiddel er i fast form.

4.2 Fordeler og ulemper

De største ulempene ved frysetørring er at metoden er kostbar og krever mye energi. Særlig frysetørningsinstrumentet er dyrt å anskaffe, selv om prisen varierer i forhold til størrelse og hvorvidt det er et frysetørkingsanlegg med vakuum (vakuumfrysetørrere er dyrere). En annen ulempe er at gjenstandene som skal behandles må passe inn i selve frysetørningskammeret. Desto større frysetørningskammer som trengs, desto dyrere er instrumentet. Også selve gjenstandens tykkelse er en avgjørende faktor. Grunnet stigende diffusjonsmotstand vil frysetørningsprosessen være langsommere jo større avstanden fra iskjernen til gjenstandsoverflaten er. Det har vist seg at eiketre med en tykkelse på 10 cm vanskelig lar seg frysetørke. Dette avhenger imidlertid også av treets porøsitet (Andersen 1993:218-219).

Det ikke mulig å justere gjenstandens form etter frysetørring. Dersom treet ikke er impregnert vil frysetørring være en ureversibel prosess. I tilfeller hvor treet på forhånd er impregnert, avhenger reversibiliteten av selve impregneringsmaterialet og hvorvidt dette binder seg til trestrukturen eller ikke (Andersen 1993: 219-220).

Fordelene med frysetørking er, som tidligere nevnt, at en sublimering av vannet forhindrer at treet kollapser grunnet dannelsen av kapillærkrefter.

4.3 Frysetørring av PEG

Ved nedfrysning av en blandingsløsning som f.eks. PEG og vann, vil vannet utkrystalliseres i takt med at temperaturen senkes. Dette resulterer i at PEG konsentrasjonen gradvis øker. Denne prosessen fortsetter inntil et vist punkt; det eutektiske punktet, kjent som E. Ved den eutektiske temperaturen T_E , har konsentrasjonen av de PEG og vann i den resterende væsken nådd en kombinasjon som muliggjør at den enten kan danne en felles krystall eller at de to stoffene utkrystalliseres ved den samme temperaturen. En slik blanding av to stoffer kalles en eutektisk blanding. Det er ikke full enighet om hvorvidt vann og PEG danner en slik eutektisk blanding eller om de danner en felles glassfase, se kapittel 4.1.1 (Andersen 1993:76-77).

Væskefaser kan føre til dannelsen av kapillærkrefter og er dermed uakseptable under frysetørringen. Det er derfor viktig at temperaturen under frysetørkingsprosessen må være under den laveste eutektiske temperaturen til PEG med den laveste molekylærvekten. Undersøkelsen foretatt av Jensen og Schnell (2004) har vist at den høyeste temperaturen PEG 200/PEG2000 /vann kan frysetørkes ved er -105°C . Kun i det denne temperaturen nås vil alt vann og PEG være i fast form. Denne lave temperaturen skyldes hovedsaklig frysetørringsegenskapene til PEG 200. En så lav temperatur er ikke mulig å oppnå ved å benytte vanlige frysetørkingsinstrumenter og slik sett lar lavmolekylær PEG (PEG 200) seg ikke frysetørke. Allikevel viste samme undersøkelse at vellykket frysetørking av blandinger bestående av lavmolekylær og høymolekylær PEG kan gjøres ved høyere temperaturer enn den laveste eutektiske temperaturen til blandingen. Dette skyldes dannelsen av det sterke strukturelle rammeverket som høymolekylærvekts PEG danner, gjør treet i stand til å motstå kapillærkreftene fra væskefasen. Analyser med skanning elektron mikrokopi, SEM, har vist at mobiliteten til lavmolekylærvekts PEG er svært høy og at lavmolekylærvekts PEG derfor kan migrere fra celleluminaen og inn i celleveggen under frysetørringsprosessen. Dette kan forklare den minimale krympingen i frysetørret tre som på forhånd er behandlet med tostegsmetoden (Jensen & Schnell 2004). *Se vedlegg L for informasjon om SEM.*

5 Andre behandlingsmetoder

5.1 Alun

Alun var en av de først materialene som ble benyttet til å impregnere vått arkeologisk tre. På midten av 1800 tallet ble det utviklet en metode som først kokte tregjenstandene i en løsning med alun $Kal(SO_4)_2$, deretter ble de impregnert med linse olje. Alunbehandling uten påfølgende impregnering ble også benyttet. Under første halvdel av 1900-tallet ble tregjenstandene stabilisert med en blanding av alun og glyserol, men glyserol gjorde dessverre treet svært ømfintlig for høy luftfuktighet. Samtidig som treet absorberte fukt begynte alun å utkrystallisere seg, noe som resulterte i at krystallene vokste og ble større. Grunnet behandlingen med alun hadde treet blitt svært tungt og sprøtt, og hadde ingen mulighet til å følge dimensjonsendringene til alunkrystallene. Treet begynte derfor å sprekke opp. Det har også vist seg at alun ikke har trukket skikkelig inn i tregjenstandene og det har resultert i at treets kjerne har kollapset (Grattan & Clarke 1987).

5.2 Lufttørring

I stedet for frysetørring har kontrollert lufttørring blitt benyttet ved en rekke anledninger. Lufttørring kan gjennomføres ved å pakke gjenstandene inn i polyetylenplast eller plassere gjenstandene i rom hvor temperatur og fuktighet kan kontrolleres (Barbour 1990:188). Lufttørring anbefales kun i tilfeller hvor treet på forhånd er impregnert. I slike tilfeller kan kontrollert lufttørring komme treet til gode da det gir tid til at diffusjonsutveksling kan finne sted mellom impregneringsmaterialet og treet. Impregneringsmaterialet kan slik diffusere inn i celleveggen uten at osmotisk kollaps forekommer³ (Grattan & Clarke 1987:167). Andre undersøkelser har vist at forhåndsimpregnering ikke er nødvendig (Grattan 1982:124-136).

³ Osmotisk kollaps er et resultat av osmotisk trykk og forekommer i tilfeller hvor impregneringsmaterialet ikke kan passere gjennom en membran som løsningsmiddelet kan passere gjennom. Dette kan resultere i dannelsen av osmotisk trykk.

5.3 Løsemidler, voks og harpikser

En annen teknikk som har blitt brukt er voksimpregnering. Metoden går ut på at treet først tørkes med løsemidler, deretter plasseres det i smeltet voks. Vokstypene som har blitt benyttet er parafin voks og parafix voks. Andre vokser og harpikser som bivoks og dammar er blitt brukt til overdekkingslag (Grattan & Clarke 1989:186).

Aceton/kolofoniummetoden er en lignende konserveringsprosess, særlig på tregjenstander som har vist seg å være lite permeable. Denne metoden er kun reversibel i et begrenset tidsrom. Dette skyldes at det dannes kryssbindinger i kolofonium, noe som over tid gjør den uløselig (Horie 1987). Behandlingen har ikke resulterte i vesentlig krymping eller oppsprekking (Grattan 1982).

5.4 *In situ* polymerisering

Det eksisterer to typer *in situ* polymeriseringsprosesser; kondensasjonspolymerisering vinylpolymerisering. Kondensasjonspolymerisering innebærer at treet blir lagt i en løsning bestående av destillert vann og en delvis polymerisert polymer. Ved å tilsette en katalysator, som senker løsningens pH, herder polymeren. Eksempler på materialer, som har blitt benyttet til denne typen konservering, er epoksier og melaminformaldehyd harpikser. En ulempe med metoden er at materialene/polymerene, som er brukt er svært kostbare, særlig ved stabilisering av store gjenstander. Metoden er også ureversibel da polymeriseringsprosessen forårsaker at det i polymeren dannes interne kryssbindinger som gjør det vanskelig å oppløse det herdede materialet (Grattan & Clarke 1987:184).

Polymerisering av vinylmonomerer innebærer at treet først dehydreres med løsemiddel, f. eks aceton. Deretter blir gjenstanden lagt i en løsning bestående av monomere. Polymeriseringsprosessen starter ved at gjenstanden bestråles med gammastråler eller varme. Monomerene bindes sammen og danner en polymer. Om sistnevnte benyttes er det nødvendig å på forhånd tilsette en katalysator som f. eks et peroksid (Grattan & Clarke 187: 185).

5.5 TEOS

Tetraetylortosilikat, TEOS, er en konserveringsmetode som blir benyttet til å behandle svært nedbrutt tre og annet organisk materiale. Etter at treet har blitt dehydrert i aceton, legges det i et TEOS bad. TEOS hydrolyserer og danner silikondioksid. Behandlingen har vist seg å være lite effektiv, da det på forhånd nedbrutte og svake treet ikke har blitt sterkere av konserveringsprosessen. Treet ble faktisk sprøere og mer skjørt. Grattan (1982) konkluderer med at det er svært lite vits i å benytte denne behandlingsformen på arkeologisk tre.

5.6 Sukrose

Sukrose er et disakkarid bestående av et glukose molekyl og et fruktosemolekyl. Materialet har ved flere anledninger blitt brukt til å konservere vått arkeologisk tre grunnet dets strukturelle og kjemiske likhet til cellulose (Hoffmann & Kuhn 1998; Hutchings 1996). Sukrose har også en rekke andre fordeler. Det er et billig materiale, det er ikke hygroskopt i fast form, totalt ugiftig å arbeide med samtidig som de har en lav molekylærvekt og derfor et mobilt materiale i løsning. Sukrose er også svært vannløselig (Hoffmann 1990:317). En ulempe ved materialet er behovet for å forhindre bakteriell vekst og at det derfor ofte er nødvendig å benytte biocider (Hoffmann 1990:317; Morgos et al 1993).

6 Metode

6.1 Utvalg av tre

6.1.1 Kildemateriale

Alle gjenstandene som ble stilt til disposisjon for undersøkelsen var våte trefunn og stammet sannsynligvis fra utgravningene i Gamlebyen/Sørenga som fant sted i 1992-1993. Denne antagelsen bygger på at enkelte av funnene hadde årstallet 1993 og Sørenga knyttet til funnummeret. Tregjenstandene har siden utgravningene blitt oppbevart i vann. Dette utgjør dermed 12-13 år. *Se vedlegg D for oversikt over trefunnene som var satt til disposisjon for oppgaven.*

6.1.2 Utvalg av fragmenter

Det ble bestemt at oppgaven kun skulle omhandle stabilisering av eik. Tregjenstander av eik ble derfor sortert ut. Denne utvelgelsesprosessen ble gjort på grunnlag av en nøyaktig identifisering av treet, se kap. 9.1. Fire gjenstander ble valgt ut og benyttet til prosjektet. Valget falt på disse gjenstandene grunnet deres størrelse samt tresort. Ordet fragment benyttes heretter om de utvalgte gjenstandene. Hvert fragment fikk ett nytt nummer: 1-4. *Se vedlegg E, fig. 1-8 for bilde av fragmentene med deres opprinnelige gjenstandsnummer og nye nummer.*

6.2 Behandling

6.2.1 Valg av molekylærstørrelse og konsentrasjon

Det ble bestemt å bruke en behandlingsprosedyre med 15% PEG 400 etterfulgt av 30 %PEG 4000. Denne behandlingsprosedyren har vist seg å gi gode resultater (Degrigny m. fl. 2001; Sæterhaug & Turner-Walkerr 2001)

PEG 400/PEG 4000 har ofte blitt benyttet til å stabilisere vanntrukket eik (Bernard-Maugiron m. fl. 1990; Chaumat m. fl. 2001; Degrigny m. l. 2001; Grattan 1989; Hoffmann 1984; Jones & Rule 1990; Panter 1993; Panter & Spriggs 1996; Sæterhaug & Turner Walker 2001; Watson 1996).

Siden lavmolekylærvekts PEG (F.eks. PEG 400) er kjent for å fungere som et antifrysemiddel, burde ikke PEG 400 konsentrasjonen være for høy. For høye PEG konsentrasjoner har også resultert i ufullstendig frysing av treet samtidig som det har gjort det behandlede treet svært hygroskopt (Jensen & Schnell 2004; Panter & Spriggs 1996). Det bør her nevnes at høyere PEG konsentrasjoner diffunderer raskere inn i treet enn lavere konsentrasjoner (Sæterhaug 1984; Young & Sims 1989).

Høye PEG 4000 konsentrasjoner har vist seg å resultere i en formørkning av treet (Chaumat m. fl. 2001), dette gjelder særlig for konsentrasjoner over 40%. Det ble derfor bestemt å holde PEG 4000 konsentrasjonen under 40%.

6.2.2 Bestemmelse av trefragmentenes størrelse

De utvalgte fragmentene ble delt opp i like store deler som hver målte ca 2.5cm i den langsgående retningen. Kun tykkelsen i den langsgående retningen ble kontrollert, dette fordi den langsgående væskestrømmen i tre er funnet å være 10000:1 i forhold til den tverrgående væskestrømmen (Siau 1971:110). Begrepet del benyttes heretter til de delene de fire fragmentene ble delt opp i. Valget av denne tykkelsen ble gjort på grunnlag av undersøkelser av diffusjonskoeffisienten for PEG 200 foretatt av Dean m. fl. (1996). På bakgrunn av disse tallene ble det regnet ut at det skulle ta 2,6 uker for PEG 200 å diffusere gjennom treet i den langsgående retningen. Siden PEG 400 har noe større molekylstørrelse enn PEG 200, ble 2,5 cm ansett som en riktig tykkelse da varigheten til hvert av impregneringsbadene (PEG 400/PEG 4000) var 5 uker. Dette fordi tidsbegrensningen på undersøkelsen ikke tillot at treet lå til behandling i mer enn 10 uker.

Delene fra fragment 3 målte ca 2.0 cm, årsaken til dette var at fragment 3 viste seg å ikke være langt nok til at alle delene kunne måle 2.5 cm.

Treet ble delt opp med en håndsag av typen Sandvik 3090 superior XT 11 tanns/12 punkt 20"500mm og en håndsag av typen Sandvik 3150 Superior XX 9 tanns/10 punkt 12"300mm. Fragmentenes deler ble så merket med Tyvek® og vannbestandig penn. Hver del fikk hver sin bokstav. Slik hadde hver del et nummer som viste hvilket fragment delen kom fra, samt en bokstav som skilte hver enkelt del fra hverandre.

6.2.3 Behandlingsprosedyre

For å kunne svare på problemstillingens hovedspørsmål var det nødvendig å behandle noen deler med kun PEG 400, noen deler med kun PEG 4000 og noen deler med tostegsmetoden. Dette for å kunne sammenligne resultatene og slik se hvorvidt de forskjellige molekylærvektene hadde trengt inn i celleveggen eller ikke. Det er kun lavmolekylærvekts PEG som skal være i stand til å trenge inn i cellenes cellevegg (Hoffmann 1986; Jensen 1996). For å kunne undersøke hvorvidt frysetørningsprosessen påvirket PEG molekylenes plassering var det nødvendig å undersøke både behandlet tre som var frysetørret og behandlet tre som ikke var frysetørret. Ved å dele opp fire fragmenter var det også mulig å sammenligne resultatene og se hvorvidt det eksisterte avvik og forskjeller i analyseresultatene.

Tredelene fra de fire fragmentene ble behandlet på følgende måte:

- A: 15% PEG 400 etterfulgt av frysetørring
- B: 15% PEG 400
- C: 30% PEG 4000 etterfulgt av frysetørring
- D: 30% PEG 4000
- E: Tostegs behandling. 15% PEG 400/ 30% PEG 4000 etterfulgt av frysetørring
- F: Tostegs behandling. 15% PEG 400/ 30% PEG 4000
- G: Behandles som gjenstand. Tostegs behandling. 15% PEG 400/ 30% PEG 4000 etterfulgt av frysetørking
- H: Lufttørres
- I: Ubehandlet
- J: Diffusjonseksperiment

Se vedlegg F for tegning av metode.

7 Analyse

Følgende analyser ble foretatt for å svare på problemstillingen. Dette er analyser som kan relateres direkte til hovedproblemstillingen samt analyser og undersøkelser som kan bidra til å gi en helhetlig forståelse og/eller belyse resultatene fra andre analyser:

- Identifisering av tresort
- Evaluering av nedbrytningsgrad
- Diffusjonsanalyse
- Vurdering av behandlingsprosedyren effektivitet
- Undersøkelse av hvor i cellene PEG befinner seg
- Undersøkelse av hvorvidt frysetørkingsprosessen påvirker PEG

Identifisering av tresort og evaluering av nedbrytningsgrad er analyser som ble foretatt før treet ble behandlet. Vurdering av behandlingsprosedyrens effektivitet, undersøkelse av hvor i cellene PEG befinner seg og undersøkelsen av hvorvidt frysetørkingsprosessen påvirker PEG ble foretatt etter at treet hadde blitt impregnert og frysetørret.

7.1 Identifisering av tresort

Visuelle undersøkelser uten optisk mikroskopi kan benyttes til en grov identifisering av hvilken tresort man har. Dette gjelder særlig for eik, en tresort som har tydelige og lett synlige margstråler. Denne metoden ble benyttet til å velge ut fragmenter som kunne brukes til prosjektet, men det ble funnet nødvendig å identifisere trefragmentene ved hjelp av optisk mikroskopi for å være 100% sikker på at fragmentene var av eik. I optisk mikroskopi benyttes enten reflektert eller gjennomgående lys og forstørrer prøven slik at man kan se detaljer man med det blotte øye ikke kan se. For å identifisere treet er det nødvendig å se på både tverrsnittet og tangentialsnittet samt radialesnittet. *Se vedlegg A, fig. 2-4 for beskrivelse av de tre snittene.* Snittene kan lages for hånd, eller med en mikrotom (Hoadley 1990). I denne undersøkelsen ble mikrotom benyttet. Snittene ble farget med safranin, ett fargestoff som farger tremassen rød og dermed gjør det lettere å se de ulike cellene og deres arrangement (Florian 1990). Ved å sammenligne med på forhånd kjente snitt og se etter distinkte trekk var

det mulig å identifisere trefragmentene. For tykke tresnitt og nedbrutt tre kan gjøre identifikasjonsprosessen vanskelig. Et optisk mikroskop av typen Leica DM LM ble benyttet.

7.2 Evaluering av nedbrytningsgrad

En evaluering av treets nedbrytningsgrad er nødvendig for å velge riktig konserveringsmetode, herunder riktig mengde materiale (Panter & Spriggs 1996:185). Jo mer nedbrutt treet er, desto større stofftap er det og mer materiale er nødvendig for å forhindre krymping og kollaps ved tørking. Det ble i denne undersøkelsen benyttet rimelig enkle nedbrytningsanalyser som ikke krevde alt for mye utstyr. Dette er analyser som gir en noe grov indikasjon på nedbrytningsgrad, men de har blitt benyttet ved en rekke andre undersøkelser (Astrup 1993; Grattan 1987; Gregory, Matthiesen & Bjørdal 2001; Hoffmann 1981; Hoffmann 2001, Panter & Spriggs 1996). Det var nødvendig å gjennomføre flere analyser for å gi et mest mulig riktig bilde av nedbrytningsgraden. Andre mer nøyaktige og kompliserte analyser for evaluering av nedbrytningsgrad nevnes kort til slutt i kapittelet.

7.2.1 Måling av vanninnhold

Vanninnhold er en test som kan gi en indikasjon på hvor nedbrutt treet er. Desto mer nedbrutt treet er, jo større stofftap vil det være og dermed mer plass til vann (Jørgensen 1989). Vanninnholdet måles ved å først å veie treets våtvekt, deretter tørkes det i en ovn ved 105 °C inntill treet stopper å miste vekt. Deretter måles tørrvekten. Vanninnholdet regnes så ut på følgende måte (Jørgensen 1989; Grattan 1987):

$\frac{\text{våtvekt} - \text{tørrvekt}}{\text{tørrvekt}} \times 100$	
Klasse 1: Svært nedbrutt tre	>400% vann
Klasse 2: Middels nedbrutt tre	185-400% vann
Klasse 3: Lite nedbrutt tre	<185% vann

Undersøkelser foretatt av Panter og Spriggs (1996:187) har vist at man må være oppmerksom på hvor man tar prøven fra og tolkningen av de resultatene man får. Det er vanskelig å fjerne

overflødig vann fra kjerneoverflaten og dette kan påvirke resultatene (Panter & Spriggs 1996). Det var derfor viktig å se resultatene fra målingene av vanninnholdet i lys av resultatene fra de andre nedbrytningsundersøkelsene. Vanninnholdet ble regnet ut på målinger foretatt av en del per fragment. Hver del besto av kjernemateriale og utvendige mer nedbrutte områder. Det var slik mulig å danne seg et helhetlig bilde av trefragmentenes og delenes vanninnhold.

7.2.2 De Jongs nåletest

De Jongs nåletest er en analysemetode som innebærer å stikke en nål inn i treet og se hvor langt inn i treet nålen går. Dette regnes som en noe subjektiv metode og den må derfor standardiseres (Hoffmann 1981:73). Metoden kan standardiseres ved å slippe nålen fra en gitt høyde og deretter måle hvor langt inn i treet nålen går. Slik vil metoden kunne si noe om hvor nedbrutt treet er og hvor nedbrutt de ulike fragmentene er i forhold til hverandre (Grattan 1987).

I dette prosjektet ble nålen sluppet fra 30 cm høyde, det vil si høyde over fragmentet da de fire fragmentene var av varierende tykkelse. Flere områder på fragmentene ble undersøkt for å se om det fantes variasjoner på et og samme fragment.

7.2.3 Tetthet

Tettheten til treet avgjøres av mengden trestoff per volumenhet og siden nedbrytning av cellulose og hemicellulose resulterer i tap av materiale kan en undersøkelse av treets tetthet si noe om treets nedbrytningsgrad. Tettheten kan måles ved å dele vekten på volumet til prøven. Volumet ble funnet ved å nedsenke prøven i vann og måle økningen i væske mengde. Antall mm ble deretter gjort om til cm^3 (Panter & Spriggs 1996:188). Desto lavere tetthet treet har, desto mer nedbrutt kan man anta at det er. Da cellevegginnholdets tetthet antas å være konstant vil en slik analyse også gi informasjon om treets porøsitet (Schniewind 1990:88). Porøsiteten kan igjen relateres til treets permeabilitet. Tettheten til fragmentene ble regnet ut på grunnlag av målinger foretatt av fire deler per fragment.

7.2.4 Andre nedbrytningsanalyser

I SEM er det mulig å se mye mindre strukturer enn ved vanlig optisk mikroskopi. *Se vedlegg L for informasjon om SEM.* Metoden kan derfor brukes til å si noe om treets nedbrytningsgrad

da man kan studere poreåpningene mellom cellene og cellevegg tilstand. (Bjørdal & Nilsson 2001; Pointing, Jones & Jones 1996; Watson 1996b). Metoden er ikke benyttet i denne undersøkelsen fordi nedbrytnings analyse ikke var oppgavens hovedformål og at enklere og mindre ressurskrevende nedbrytningsanalyser ble benyttet.

Fourier infrarød spektroskopi (FT-IR) er også benyttet til å undersøke treets nedbrytningsgrad. I FT-IR blir prøven bestrålt med stråler fra det infrarøde spektret, disse strålene absorberes i henhold til vibrasjonene til kjemiske bindinger (Timar-Balazsy og Eastop 1998:393). Ved å studerer karakteristiske topper i et FT-IR spektrum er det mulig å si noe om mengden av de ulike polymerene tre består av (cellulose, hemicellulose og lignin) (Macleod & Richards 1996; Kirolov & Mikolajchuk 1990) Heller ikke dette analyseinstrumentet er benyttet til nedbrytningsanalyser i dette prosjektet av samme årsak som for SEM. *Se kapittel 7.5..2 for ytterligere informasjon om FT-IR.*

En rekke kjemiske analyser som løselighet i 1% NaOH, varmtvanns ekstraksjon, alkoholbenzen ekstraksjon og analyse av lignin-, cellulose- og hemicelluloseinnhold er metoder som kan si noe om treets tilstand på et ultrastrukturelt nivå (Hoffmann 1981) Dette er tester som ofte må kjøpes og fremgangsproseduren finnes ikke tilgjengelig i litteraturen. Slike tester er derfor ikke benyttet i dette prosjektet.

7.3 Diffusjonseksperiment

For å kunne evaluere om valg av tredelens størrelse var riktig eller gal ble det bestemt å gjennomføre diffusjonseksperimenter. Det undersøkte treet hadde samme tykkelse som de behandlede tredelene og undersøkelsen foregikk over et tidsrom på fem uker, altså den samme varigheten som impregneringsbadene. På denne måten var det og mulig og avgjøre hvorvidt PEG blandningene hadde diffundert helt inn i treet.

7.3.1 Diffusjon

Med diffusjon menes bevegelse av et molekyl fra et sted til et annet (Pedersen 1996:61), og innebærer en forflytningsprosess som skyldes konsentrasjonsforskjeller (Jensen 1996:455). Et PEG impregneringsbad har høyere konsentrasjon PEG enn tregjenstanden som behandles.

PEG molekylerne diffunderer inn i treet grunnet denne konsentrasjonsforskjellen. Diffusjon innebærer derfor væskestrøm fra høy til lav konsentrasjon.

Diffusjon omtales, som tidligere nevnt, som væskestrøm som ikke er i likevekt. Diffusjonskoeffisienten til PEG gjennom tre er funnet og følge Ficks andre lov (Dean et.al 1996)

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}$$

Φ : Vanninnhold

t : Tid [s]

D : diffusjons koeffisienten i dimensjonene av [lengde² tid⁻¹], [m² s⁻¹]

X : posisjonen [lengde], [m]

(Siau 1971)

Diffusjonshastigheten til en væske gjennom tre påvirkes av en rekke faktorer: i hvilken retningen væsken beveger seg gjennom treet, diffusjonsarealet, hvorvidt treet består av kjerneved eller yteved, vanninnholdet i treet og dermed også treets tetthet, molekylærvekten til impregneringsmaterialet, konsentrasjonsforskjeller og temperatur (Dean et. al 1996; Siau 1971).

7.3.2 Gjennomføring av diffusjonsundersøkelsene

For å undersøke diffusjonen gjennom tre måtte det utvikles en diffusjonsenhet. Prinsippet bak diffusjonsenheten var at den besto av to diffusjonsavdelinger som var avskilt fra hverandre. Mellom disse ble tredelen festet slik at diffusjonen kun foregikk gjennom treet. Slik ville væsken fra den ene diffusjonsavdelingen kunne diffundere gjennom treet, over i den andre diffusjonsavdelingen og omvendt. *Se vedlegg L, fig. 1 for en generell tegning av diffusjonsenheten.*

7.3.2.1 Diffusjonsundersøkelse I

Den første diffusjonsundersøkelsen besto av to diffusjonsenheter. De var konstruert av to polyetylenbokser som hver rommet 2 liter. Disse utgjorde de to diffusjonsavdelingene og ble montert inntill hverandre med hvit sanitærsilikon. Deretter ble det skjært ut et hull tilsvarende tredelens størrelse, hvor tredelen ble montert fast med sanitærsilikon. Det var viktig at det ikke var noen glipper mellom treet og polyetylenboksene slik at PEG/vann kun difunderte gjennom treet. Det ble lagd to diffusjonsenheter, i den ene besto diffusjonsavdelingene av 15% PEG/avionisert vann, i den andre av 30% PEG/avionisert vann. Hver avdeling inneholdt 1.9 liter væske.

7.3.2.2 Diffusjonsundersøkelse II

Den andre diffusjonsundersøkelsens diffusjonsenheter var konstruert av to avkappede $\frac{1}{2}$ brusflasker som ble gjort vanntette ved å montere en polyetylenplate i enden med sanitærsilikon. Dette utgjorde de to diffusjonsavdelingene. Mellom de to brusflaskene ble det montert en gummislange, denne ble festet til flasketutene med sirkulære metalltvinger. I midten av gummislangen ble tredelen plassert. Denne var hugget ut av treets kjerne ved hjelp av en tilslippt sylindrisk metallform. Trebiten ble holdt på plass med en sirkulær metalltvinge. Det ble i denne diffusjonsundersøkelsen lagd tre diffusjonsenheter, to med 15% PEG/avionisert vann og en med 30% PEG/avionisert vann. I alle diffusjonsenhetene hadde trebiten samme sirkulære form. Årsaken til at det ble benyttet to diffusjonsenheter med 15% PEG/avionisert vann var at det under oppkuttingen av treet ble lagt merke til at treets kjerne var svært lys og ikke så ut til å være vanntrukket. Da dette kunne innebære at det var luft i kjernen ble det bestemt å vakuumbehandle en av trebitene i 24 timer før diffusjonsundersøkelsens start, da luft i porene kan påvirke diffusjonen av væsker gjennom tre (Siau 1971). Hver diffusjonsavdeling besto av 200 ml væske og på toppen av hver brusflaske ble det skjært ut en liten åpning hvor prøver til diffusjonsmålingene kunne tas. Denne åpningen ble dekket til med plastfolie for at vannet ikke skulle fordampe og slik gi gale målinger. *Se vedlegg G, fig 2 for bilde av diffusjonsenhetene.*

7.3.3 Diffusjonsmåling

Diffusjonen gjennom treet ble målt ved å måle brytningsindeksen i de to diffusjonsavdelingene, altså avdelingene med PEG og avdelingene med avionisert vann. Brytningsindeksen til et materiale defineres som lysets hurtighet i vakuum delt på lysets

hurtighet i interesse materialet (Brill 1980:80). Lyset beveger seg hurtigere gjennom vann enn PEG, og vann og PEG har derfor ulike brytningsindeks. Mens avionisert vann har en brytningsindeks på 1,333 n_D ved 20° C, har PEG løsningene en høyere brytningsindeks. Brytningsindeksen til PEG blandinger varierer videre med konsentrasjon, desto høyere konsentrasjon, desto høyere brytningsindeks. Brytningsindeksen påvirkes av tre faktorer; lysets bølgelengde, temperatur og atomnummer, og materialets tetthet (Brill 1980:46). Slik kan man benytte målinger av brytningsindeksen til å overvåke diffusjonen gjennom treet da brytningsindeksen til det avioniserte vannet vil stige i det PEG løsningen diffunderer gjennom treet og over i avdelingen med avionisert vann, mens brytningsindeksen i PEG løsningen vil synke i det vannet diffunderer gjennom treet og inn i avdelingen med PEG løsning. Brytningsindeksen ble målt med et håndholdt refraktometer av typen ATAGO 5000 som måler brytningsindekse fra 1,333 til 1,520 n_D . Målingene ble foretatt annenhver dag. *Se vedlegg H for beskrivelse av bruk av refraktometeret.*

7. 4 Vurdering av behandlingsprosedyrens effektivitet

For å finne ut om behandlingsprosedyren var vellykket eller ikke ble det bestemt å vurdere behandlingsprosedyrens effektivitet. Utregning av treets antikrympeeffekt, ASE har ofte blitt benyttet til dette formålet. ASE brukes til å måle de dimensjonale endringene til treet, og regnes ut ved å sammenligne bevegelsene til ubehandlet tre med behandlet tre. ASE regnes ut på følgende måte:

$$\% ASE = (DC^0 - DC/DC^0) \times 100$$

DC = prosentvis endring for behandlet tre

DC⁰ = prosentvis endring for ubehandlet, lufttørket tre.

Ved å feste knappenåler med en bestemt avstand i den tangentielle, langsgående og radiale retningen og måle avstanden etter at behandlingen er ferdig, var det mulig og regne ut ASE for de fire delene. Det er her viktig å huske på at metoden kun kan brukes om ASE verdiene for den samme behandlingen stemmer overens i alle de tre retningene (Grattan 1987). Metoden har tidligere blitt benyttet i en rekke undersøkelser som et middel til å evaluere ulike behandlingsmetoders effektivitet, jo høyere prosentverdi ASE har, desto mer vellykket er

behandlingen. (Grattan & Horvath 1993; Hoffmann 1990; Hoffmann 2001; Imatzu & Morgos 1996; Jones & Rule 1990:36-37). Til å undersøke ASE ble del 1-4 G benyttet.

7.5 Lokalisering av PEG

7.5.1 Fluorescerende mikroskopi

Fluoriserende mikroskopi har tidligere blitt benyttet til å lokalisere PEG i treet etter behandling (Young & Sims 1989; Bernard-Maugiron et.al.1990). I fluoriserende mikroskopi bestråles prøven med energirikt UV lys. Dette gjøres fordi enkelte stoffer under UV bestråling sender ut lys av lengre bølgelengde, altså det fluorescerer (Laane & Lie 1992:78). Tre er kjent for å ha en slik naturlig fluorescens (Young & Sims 1989:115).

Ved å farge PEG med kobolt thiocyanat kan PEG lokaliseres ved hjelp av fluorescerende mikroskopi. PEG som farges med kobolt thiocyanatet fluorescerer ikke under UV lys. Dersom PEG og farge finnes inne i selve celleveggen til treets treceller forhindres derfor treets naturlige fluorescens. Fraværende fluorescens indikerer dermed tilstedeværelse av PEG (Young & Sims 1989:115). Young og Sims (1989) og Bernard-Maugiron m. fl. (1990) benyttet fluorescerende mikroskopi for å undersøke hvor i cellene og celleveggene PEG befant seg etter at treet var behandlet.

7.5.1.1 Fremgangsmåte

Det ble tatt snitt fra alle de delene som var frysetørket, altså 1-4 A, C, og E, samt fra del I som var ubehandlet. Snittene ble hovedsaklig tatt med mikrotom, men det viste seg at dette var svært vanskelig da det behandlede treet var svært hardt og kompakt. Snitting for hånd med et ensidet barberblad viste seg ved enkelte anledninger å gi bedre snitt. Snittene ble farget og undersøkt med optisk fluorescerende mikroskopi. Snittene ble tatt ca. 10 mm. Fra overflaten slik at resultatene ikke skulle være missvisende. Det ville med stor sannsynlighet være mer PEG ytterst i tredelen grunnet impregneringsmaterialets kortere diffusjonsvei (Dean et.al 1996; Siau 1971). *Se vedlegg F for nærmere beskrivelse av metode.* Snittene ble analysert under UV lys i et optisk mikroskop av typen Leica DM LM.

7.5.1.2 Fargeprosedyren

Fargeprosedyren som ble benyttet involverte tre steg og ble utført etter beskrivelse av Young og Wainright (1989). De tre stegene var dehydrering, fenolbehandling og selve fargingen. Under dehydreringsprosessen ble snittene plassert i 5ml medisinglass som inneholdt tørt etyl eter. Etter 30 minutter ble det byttet til nytt etyl eter og snittene lå ytterligere i 1,5 time. Snittene var hele tiden nedsenket i etyl eter. Under fenolbehandlingen ble hvert snitt overført til 0,5ml 85% w/v fenol i tørt etyl eter. Nedsenkingen varte i 20 sekunder. Etter behandling i fenolløsningen ble snittene overført til en kobolt thiocyanat/etyl eter løsning. Denne løsningen ble produsert ved å blande 0.4g kobolt thiocyanat med 10 ml etyl eter. Denne blandingen ble videre tynnet ut til en 1:4 løsning. Fenolbehandlingen og fargingen ble utført i et kammer med mindre enn 10% luftfuktighet.

7.5.1.3 Fremstilling av permanente snitt

Etter at fargeprosedyren var ferdig ble det lagd permanente snitt. Dette for at det skulle være mulig å undersøke snittene og resultatene i ettertid. De permanente snittene ble lagd ved først å dyppe snittene i xylen, deretter ble de overført til et objektglass, påført monteringsmediet Eukitt® og dekkglass. Monteringsmediet herdet forholdsvis raskt, og snittene var klare til analyse neste dag.

7.5.1.4. Konstruksjon av hanskeboks

Det viste seg å være svært nødvendig at en rekke av prosedyrene i fargeprosessen skjedde i kammer med en luftfuktighet på under 10%. Høyere luftfuktighet kunne forårsake at PEG molekylerne ble mobile noe som kunne resultere i at PEG molekylerne forflyttet seg fra sin opprinnelige plassering (Young & Wainwright 1980; Young & Sims 1989). Det var derfor nødvendig å utvikle en hanskeboks, en lufttett boks hvor luftfuktigheten kunne kontrolleres og som det var mulig å arbeide i.

En oppbevaringsboks i polypropylen som rommet 33 liter utgjorde hovedstrukturen i hanskeboksen. Det ble skjært ut to hull til montering av hansker på langsiden av boksen. Hanskene ble montert med sanitærsilikon. En rikelig mengde silikagel ble tørket skikkelig ut og lagt i bunnen av boksen. En tilskjært kanalplastplate ble lagt over silikagellen slik at det var en stødig bunn å arbeide på. Deretter ble det skjært til en åpningsdør som ble benyttet til å føre nødvendig utstyr inn og ut av boksen, samt et mindre hull hvor luftfuktighetsmåleren kunne stikkes inn. Disse åpningene ble dekket til med gaffatape, slik at boksen var helt tett.

En digital luftfuktighetsmåler av typen Novasina MS1 E ble benyttet til å måle luftfuktigheten i hanskeboksen. *Se vedlegg I, fig. 1-2 for bilder av hanskeboksen.*

7.5.2 FT-IR

Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR, er en analysemetode som kan brukes til å identifisere hvilke forbindelser en prøve består av. Prøven bestråles av bølgelengder fra det infrarøde spekteret. Enkelte bølgelengder får stoffene i prøven til å vibrere på ulike måter (bending, stretching og rotation). Den bølgelengden som disse vibrasjonene skjer ved, er spesielle for bindingene mellom atomene i den prøven man har. Hvilke bølgelengder som absorberes kan måles i den transmitterte eller reflekterte strålingen som gir opphav til et spekter som er karakteristisk for hvert enkelt stoff (Derrick m. fl. 1999; Timar-Balazsy & Eastop 1998:393). ATR er en teknikk som gjør at IR kan brukes på rimelig tykke prøver og teknikken er dermed velegnet til å analysere tre. FT-IR egner seg til å analysere både organiske så vel som uorganiske materialer.

PEG har et karaktersistisk spektrum og spektrumet for PEG 400 og PEG 4000 variere noe. *Se vedlegg J, fig. 1-2 for spektrum av PEG 400 og PEG 4000.* Derfor kan FT-IR benyttes til å lokalisere PEG i behandlet tre. For å kunne benytte denne metoden er det nødvendig å bruke et FT-IR, ATR mikroskop. Dette er et instrument som kan analysere svært små prøver og det er mulig å analysere kun det området man er interessert i (Derrick m. fl. 1999), i dette tilfellet trecellenes cellevegg for slik å avgjøre hvorvidt PEG har trengt inn i celleveggen eller ikke.

7.5.2.1 Fremgangsmåte

Det ble tatt snitt fra alle de delene som var frysetørket, altså 1-4 A, C, og E. Fremgangsmåten for selve snitteprosessen var ellers lik fremgangsmåten for fluorescerende mikroskopi, kap.7.4.1.1. *Se vedlegg K for informasjon om analyseringsprosessen og bruk av instrumentet.*

7.6 Vurdering av frysetørningsprosessens innvikning på PEG

7.6.1 Fluorescerende mikroskopi

For informasjon om metoden, se kapittel 7.5.1.

7.6.1.1 Fremgangsmåte

Det ble tatt snitt fra alle de delene som ikke var frysetørket, altså 1-4 B, D, og F. Snittene ble tatt med mikrotom. Snitting for hånd var ikke nødvendig. Snittene ble farget og undersøkt med optisk fluorescerende mikroskopi. For å kunne si noe om frysetørningsprosessen innvirkning ble resultatene fra denne analysen sammenlignet med resultatene fra analysen foretatt i kapittel 7.5.1.1. Slik var det mulig å se om det eksisterte forskjeller i lokaliseringen av PEG mellom behandlet tre som ikke var frysetørret og behandlet tre som var frysetørret. *Se vedlegg F for nærmere informasjon om metode.*

7.6.2. FT-IR

For informasjon om metoden, se kapittel 7.5.2.

7.6.2.1 Fremgangsmåte

Det ble tatt snitt fra alle de delene som var frysetørket, altså 1-4 B, D, og F. Fremgangsmåten for selve snitteprosessen var ellers lik som for fremgangsmåten for fluorescerende mikroskopi, kap.7.5.1.1

Selve analyseprosessen var den samme som i kapittel. 7.5.2 Resultatene fra denne analysen ble sammenlignet med resultatene fra analysen foretatt i kapittel 7.5.2 Slik var det mulig å se om det eksisterte forskjeller i lokaliseringen av PEG mellom behandlet tre som ikke var frysetørret og behandlet tre som var frysetørret.

7.7 Analysemetoder som ikke lot seg gjennomføre

For en nøyaktig lokalisering av PEG molekylerne kunne teoretisk sett skanningelektron mikroskop med en energidispersiv røntgendetektor, SEM-EDX, ha blitt benyttet. *Se vedlegg L for informasjon om metoden.* Ved å koble en uorganisk markør med større atomvekt enn karbon til hydroksylgruppene på PEG molekylerne, kan PEG spores med SEM-EDX. Dette vil påvirke diffusjonsraten til PEGs samt endre hvordan PEG binder seg til treet (Crawshaw, personlig korrespondanse, 2006).

Den eneste metoden som ikke påvirker og endrer PEG molekylerne er isotoperstatning. En inkorporering av deuterium eller ^{13}C inn i etylenoksid forløperen til PEG, gjør at PEG

molekylene kan spores med nukleær magnetisk resonans, NMR. Dette er et svært dyrt alternativ (Crawshaw, personlig korrespondanse, 2006).

8 Resultater

8.1 Identifisering av tresort

Identifiseringsprosedyren viste at alle de utvalgte trefragmentene var av eik. For utvalg av bilder fra identifiseringen. *Se vedlegg M, fig. 1-6.* Fig. 1, 3 og 5 viser snitt av nytt tre. Her er det mulig og se de ulike karakteristiske kjennetegnene for eik. Fig. 2, 4 og 6 viser snitt av arkeologisk tre.

Fig. 1 og 2 viser tverrsnittet til nytt og arkeologisk tre. Eik er en ringporøs tresort og dette er lett synlig både på nytt og arkeologisk tre. Det er også mulig å se antydningen flammeligende distribusjonen av poregrupper i sommerveden.

Fig. 3 og 4 viser det radiale snittet til nytt og arkeologisk tre. Her ser man ruteformasjonen som viser de horisontale margstrålene som krysser de langsgående cellene .

Fig. 5 og 6 viser det tangentialt snitt til nytt og arkeologisk tre. Det er litt vanskelig å kjenne igjen strukturene i det arkeologiske treet, men man kan ane de enradede og flerradete cellene.

8.2 Evaluering av nedbrytningsgrad

8.2.1 Fragment I

Test	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
De Jong test	7,5 mm	7,5 mm	7,5 mm	7,5 mm	7,5 mm	7,5 mm	7,5 mm	7,5 mm	7,5 mm	7,5 mm
Vekt	56,06 g	46,81 g	54,41 g	52,17 g	59,39 g	52,38 g	55,36 g	53,02 g	46,68 g	49,04 g
Volum			0,49 cm ³	0,45 cm ³	0,50cm ³				0,41cm ³	
			111,05	115,93	118,78				113,85	
Tetthet g/ml			g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³				g/cm ³	
Gjennomsnittlig tetthet	114, 9 g/cm ³	114, 9 g/cm ³	114, 9 g/cm ³	114, 9 g/cm ³	114, 9 g/cm ³	114, 9 g/cm ³	114, 9 g/cm ³	114, 9 g/cm ³	114, 9 g/cm ³	114, 9 g/cm ³
Vekt etter tørking								21,62 g		
Vanninnhold	145,23 %	145,23 %	145,23 %	145,23 %	145,23 %	145,23 %	145,23 %	145,23 %	145,23 %	145,23 %

8.2.2 Fragment II

Test	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
De Jong test	10,0 mm	10,0 mm	10,0 mm	10,0 mm	10,0 mm	10,0 mm	10,0 mm	10,0 mm	10,0 mm	10,0 mm
Vekt	26,61 g	23,50 g	23,59 g	31,76 g	27,64 g	37,70 g	26,52 g	31,68 g	22,52 g	20,94 g
Volum	0,25 cm ³			0,30 cm ³					0,20 cm ³	0,19 cm ³
	106,44			105,86					112,6	110,2
Tetthet g/ml	g/cm ³			g/cm ³					g/cm ³	g/cm ³
Gjennomsnittlig tetthet	108,77 g/cm ³	108,77 g/cm ³	108,77 g/cm ³	108,77 g/cm ³	108,77 g/cm ³	108,77 g/cm ³	108,77 g/cm ³	108,77 g/cm ³	108,77 g/cm ³	108,77 g/cm ³
Vekt etter tørking								10,06 g		
Vanninnhold	214,91 %	214,91 %	214,91 %	214,91 %	214,91 %	214,91 %	214,91 %	214,91 %	214,91 %	214,91 %

8.2.3 Fragment III

Test	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
De Jong test	10,0 mm	10,0 mm	10,0 mm	10,0 mm	10,0 mm	10,0 mm	10,0 mm	10,0 mm	10,0 mm	10,0 mm
Vekt	95,70 g	91,88 g	91,31 g	102,60 g	85,84 g	102, 60 g	99,45 g	78, 29 g	65,53 g	46,65 g
Volum	0,82,cm ³			0,90 cm ³	0,74 cm ³				0,59, cm ³	
Tetthet	116,7 g/cm ³			114,0 g/cm ³	116,0 g/cm ³				111,06 g/cm ³	
Gjennomsnittlig	114,44	114,44	114,44	114,44	114,44	114,44	114,44	114,44	114,44	114,44
tetthet	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³
Vekt etter ørking								28,11 g		
Vanninnhold	178,51 %	178,51 %	178,51 %	178,51 %	178,51 %	178,51 %	178,51 %	178,51 %	178,51 %	178,51 %

8.2.4 Fragment IV

Test	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
De Jong test	8,5 mm	8,5 mm	8,5 mm	8,5 mm	8,5 mm	8,5 mm	8,5 mm	8,5 mm	8,5 mm	8,5 mm
Vekt	75,20 g	74,69 g	77,46 g	73,46 g	66,83 g	76,24 g	68,80 g	73,05 g	75,03 g	73,25 g
Volum	0,65 cm ³		0,68 cm ³		0,60 cm ³					0,65 cm ³
Tetthet	115,69, g/cm ³		113,91 g/cm ³		111,38 g/cm ³					112,69 g/cm ³
Gjennomsnittlig	113,41	113,41	113,41	113,41	113,41	113,41	113,41	113,41	113,41	113,41
tetthet	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³
Vekt etter tørking								25,41 g		
Vanninnhold	189,49 %	189,49 %	189,49 %	189,49 %	189,49 %	189,49 %	189,49 %	189,49 %	189,49 %	189,49 %

8.3 Diffusjonseksperiment

8.3.1 Diffusjonsundersøkelse I

Resultater fra diffusjonsmålinger. Alle resultater i n_D .

Dato	15% PEG 400 (RI målt i avdeling med	15% PEG (RI målt i avdeling med
	H ₂ O)	H ₂ O)
08.02.2006	1,333	1,333
10.02.2006	1,333	1,333
12.02.2006	1,333	1,333
14.02.2006	1,333	1,333
16.02.2006	1,333	1,333
18.02.2006	1,333	1,333
20.02.2006	1,333	1,333
22.02.2006	1,333	1,333
24.02.2006	1,333	1,333
26.06.2006	1,333	1,333
28.02.2006	1,333	1,333

8.3.2 Diffusjonsundersøkelse II

Resultater fra diffusjonsmålinger. Alle resultater ble målt i n_D .

Dato	15%PEG 400	H2O	30%PEG 4000	H2O	15% PEG 400+vakuum	H2O
18.03.2006	1,35400	1,33300	1,37300	1,33300	1,35350	1,33300
20.03.2006	1,35400	1,33300	1,37300	1,33300	1,35300	1,33400
22.03.2006	1,35400	1,33300	1,37300	1,33300	1,35300	1,33350
24.03.2006	1,35400	1,33300	1,37300	1,33300	1,35300	1,33350
28.03.2006	1,35400	1,33300	1,37300	1,33300	1,35300	1,33300
30.03.2006	1,35400	1,33300	1,37250	1,33350	1,35300	1,33340
01.04.2006	1,35350	1,33350	1,37200	1,33350	1,35350	1,33350
03.04.2006	1,35350	1,33350	1,37150	1,33350	1,35350	1,33350
05.04.2006	1,35350	1,33350	1,37150	1,33300	1,35350	1,33350
07.04.2006	1,35350	1,33350	1,37150	1,33300	1,35350	1,33350
09.04.2006	1,35350	1,33350	1,37100	1,33300	1,35350	1,33350
11.04.2006	1,35350	1,33350	1,37100	1,33300	1,35350	1,33350
13.04.2006	1,35250	1,33400	1,37100	1,33300	1,35350	1,33350
15.04.2006	1,35250	1,33400	1,37100	1,33300	1,35350	1,33350
17.04.2006	1,35250	1,33400	1,37100	1,33300	1,35350	1,33350
19.04.2006	1,35200	1,33340	1,37200	1,33300	1,35350	1,33350
21.04.2006	1,35200	1,35000	1,37250	1,33300	1,35350	1,33350

Se vedlegg N, fig-1-3 for grafisk fremstilling.

8.4 Vurdering av behandlingsprosedyrens effektivitet

Mål før behandling	1G	2G	3G	4G	1H	2H	3H	4H
Tangential	1,5 cm	2,0 cm	3,0 cm	3,0 cm	1,5 cm	1, 0 cm	2,0 cm	1,5 cm
Langsgående	2,4 cm	2,25 cm	1,9 cm	2,3 cm	2,5 cm	2,5 cm	2,0 cm	2,5 cm
Radial retning	2,5 cm	1,0 cm	2,0 cm	2,0 cm	1,5 cm	2,0 cm	3,0 cm	2,0 cm
Mål etter behandling								
Tangential	1,45 cm	2,0 cm	2,9 cm	3,0 cm	1,2 cm	0,9 cm	1,7 cm	1,2 cm
Langsgående	2,35 cm	2,25 cm	1,9 cm	2,3 cm	2,3 cm	2,2 cm	1,6 cm	2,4 cm
Radial retning	2,4 cm	1,0 cm	1,9 cm	1,95 cm	1,3 cm	1,7 cm	2,6 cm	1,8 cm
Ase								
ASE Tangential	83,35 %	100 %	77,80 %	100 %				
ASE Langsgående	73,96 %	100 %	100 %	100 %				
ASE Radial	70 %	100 %	62,50 %	75 %				
Gjennomsnittlig ASE	75,77 %	100 %	80,10 %	91,66 %				

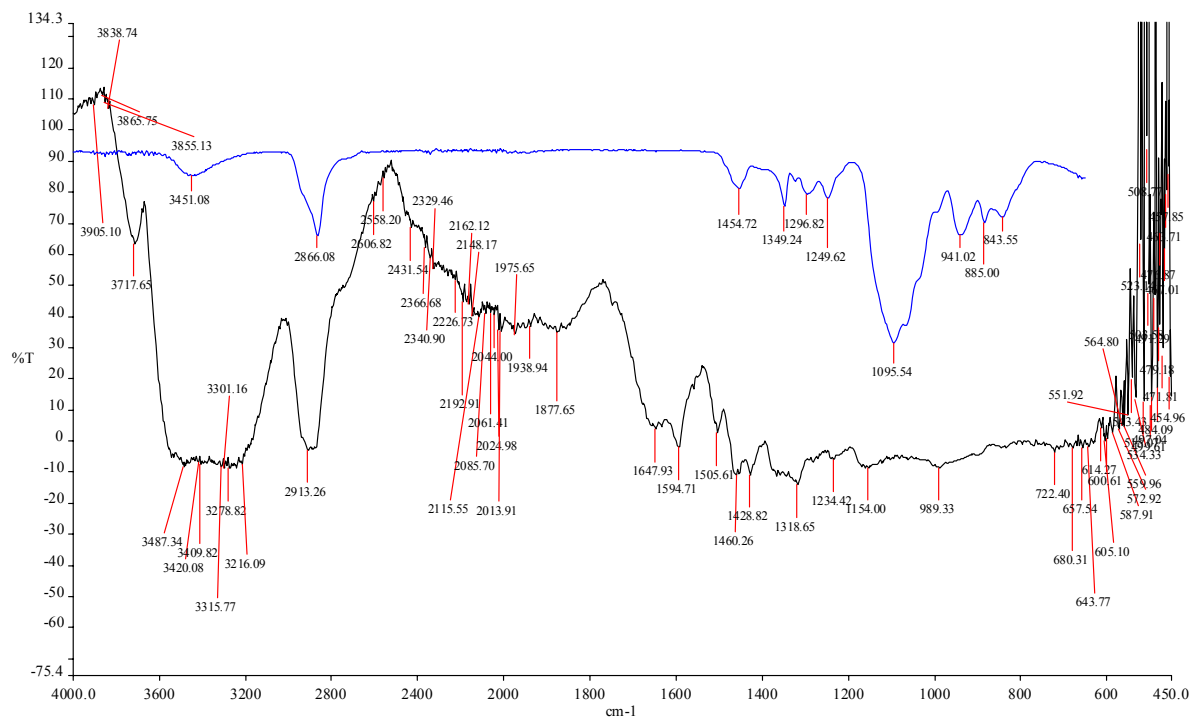
ASE ble regnet ut på bakgrunnen av målingene gjort på del 1-4 G og del 1-4 H

8.5 Lokalisering av PEG

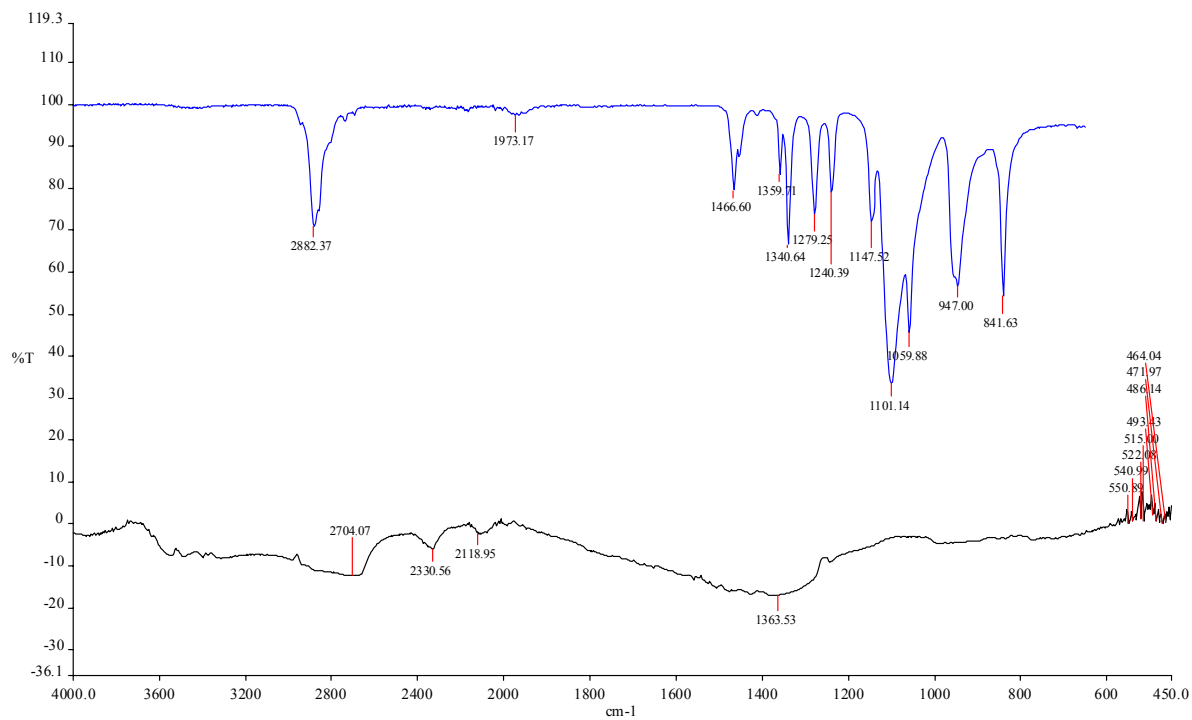
8.5.1 Fluorescerende mikroskopi

Del	Resultat
Ubehandlet	Undersøkelsen indikerte stor grad av fluorescens i tresubstansen, særlig inne i celleveggene. Men fluorescensen var også fraværende, og/eller kun delvis i enkelte celler. <i>Se vedlegg O, fig.17 for bilde av ubehandlet farget snitt.</i>
1A	Ingen fluorescens i celleveggen. Antydning til fluorescens i enkelte celleluminaer. <i>Se vedlegg O, fig 1.</i>
1C	En god del av cellenes cellevegg fluorescerte, men dette gjaldt ikke for alle cellene. Det var også enkelte celler som ikke fluorescerte. Mange partikler på overflaten forstyrret resultatet. <i>Se vedlegg O, fig 3..</i>
1E	Det var nesten ingen antydning til fluorescens. Mange partikler på overflaten forstyrret resultatet. <i>Se vedlegg O, fig 5.</i>
2A	Det var ingen antydning til fluorescens inne i cellenes cellevegg. Det fluorescerte i enkelte større hulrom. <i>Se vedlegg O, fig 7.</i>
2C	Ble ikke farget blå, derfor ingen resultater fra denne prøven.
2E	Det var antydning til fluorescens i noen få celler, men generelt var det svært lite fluorescens. <i>Se vedlegg O, fig 10.</i>
3A	Ble ikke farget blå.
3C	Mange av cellenes cellevegg fluorescerte <i>Se vedlegg O, fig 13.</i>
3E	Antydning til fluorescens i et fåtall av celler. Generelt svært lite fluorescens. <i>Se vedlegg O, fig 15.</i>
4A, 4C, 4E	Ikke undersøkt. Det ble ikke produsert nok farge.

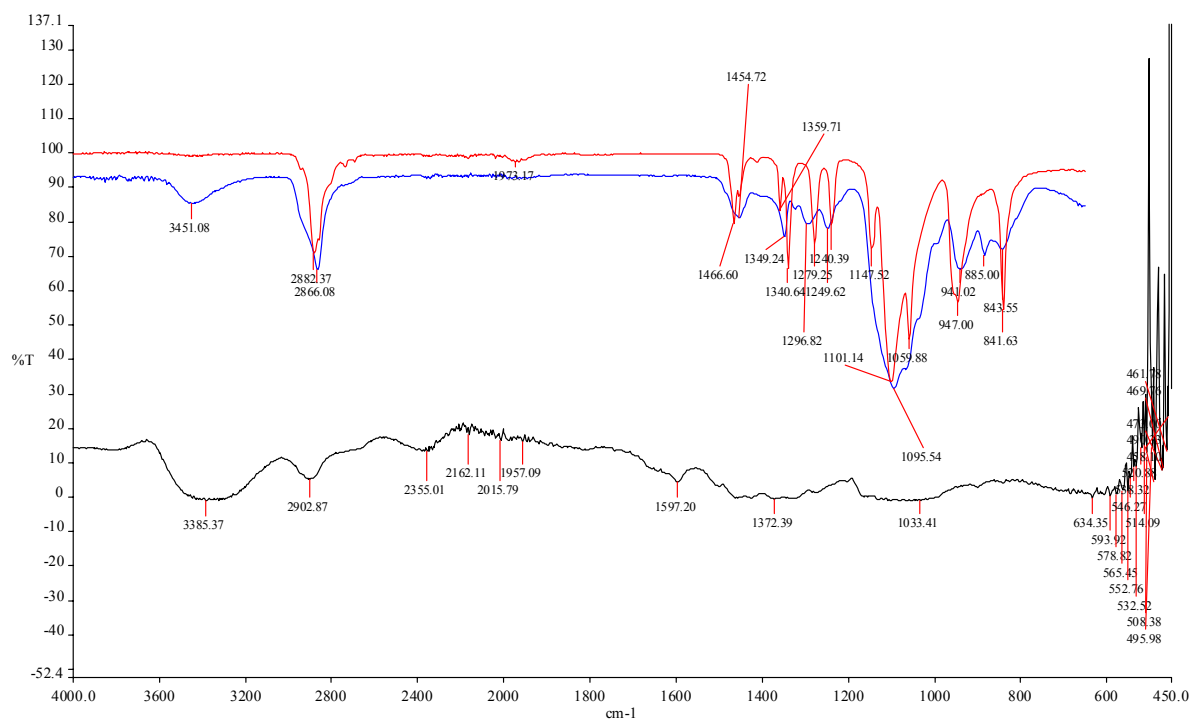
8.5.2 FT-IR



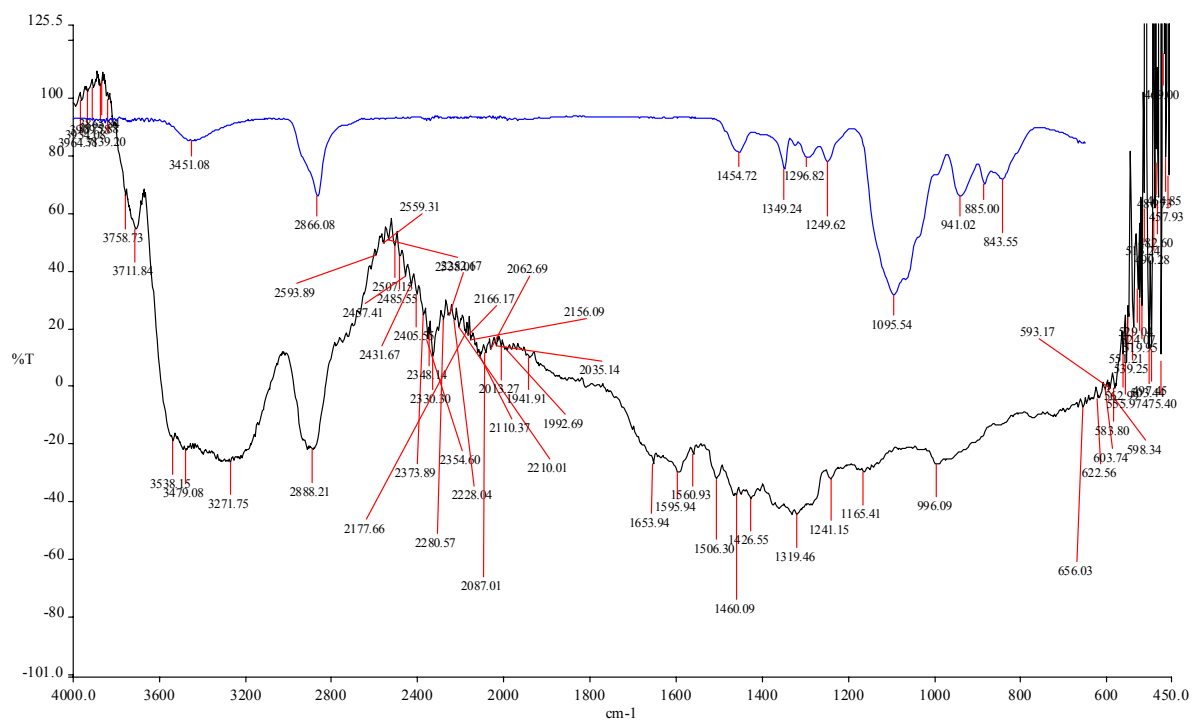
Spektrum 1: Sort: 2A + frysetørring. Blå: PEG 400



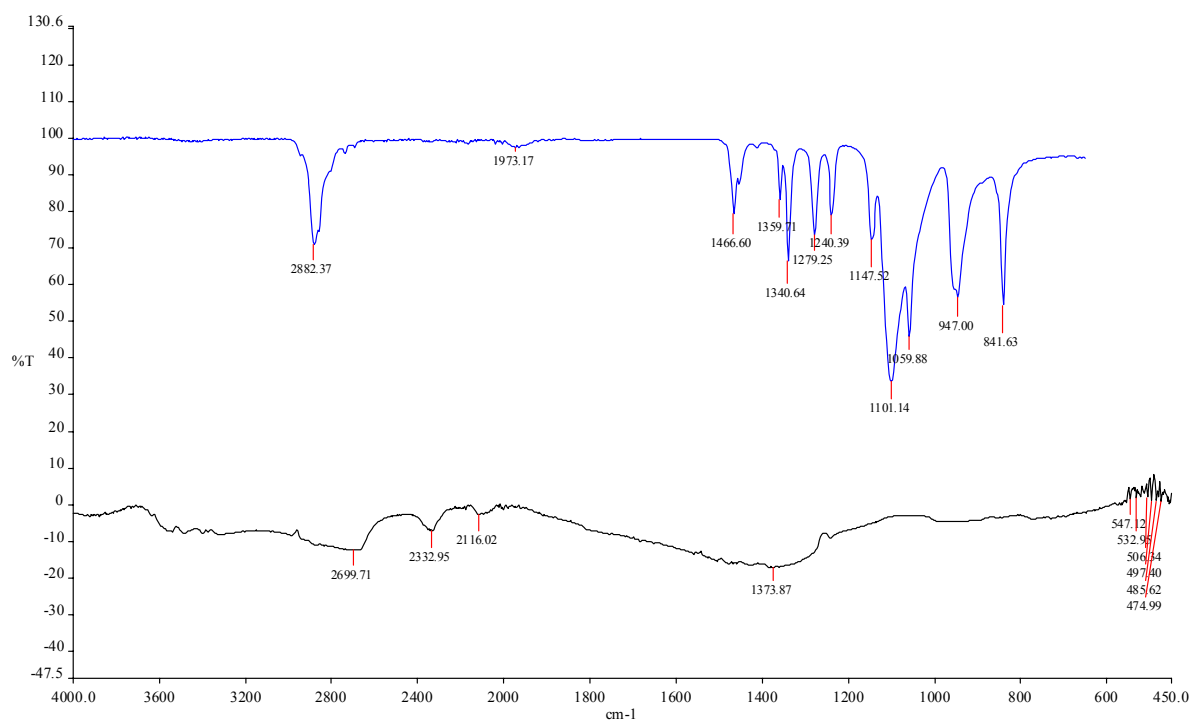
Spektrum 2: Sort: 2C + frysetørring. Blå: PEG 4000



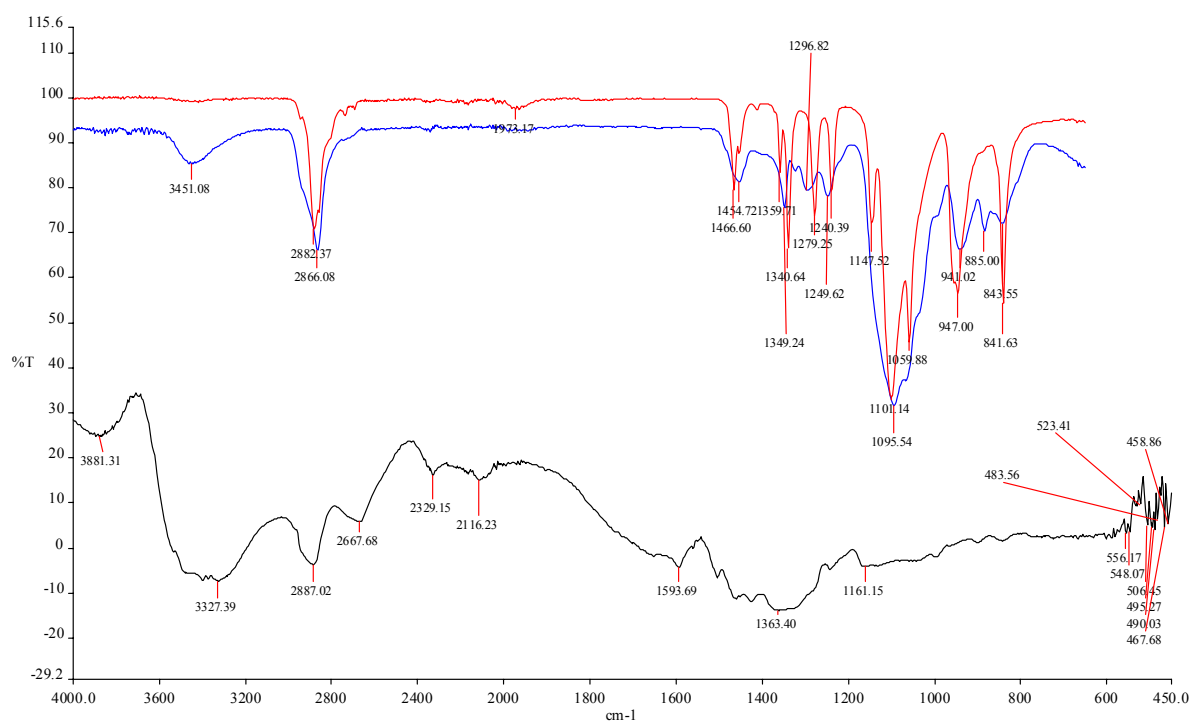
Spektrum 3: Sort: 2E + frysetørring. Blå: PEG 400. Rød: PEG 4000.



Spektrum 4: Sort: 3A + frysetørring. Blå: PEG 400



Spektrum 5: Sort: 3C + frysetørring. Blå: PEG 4000.



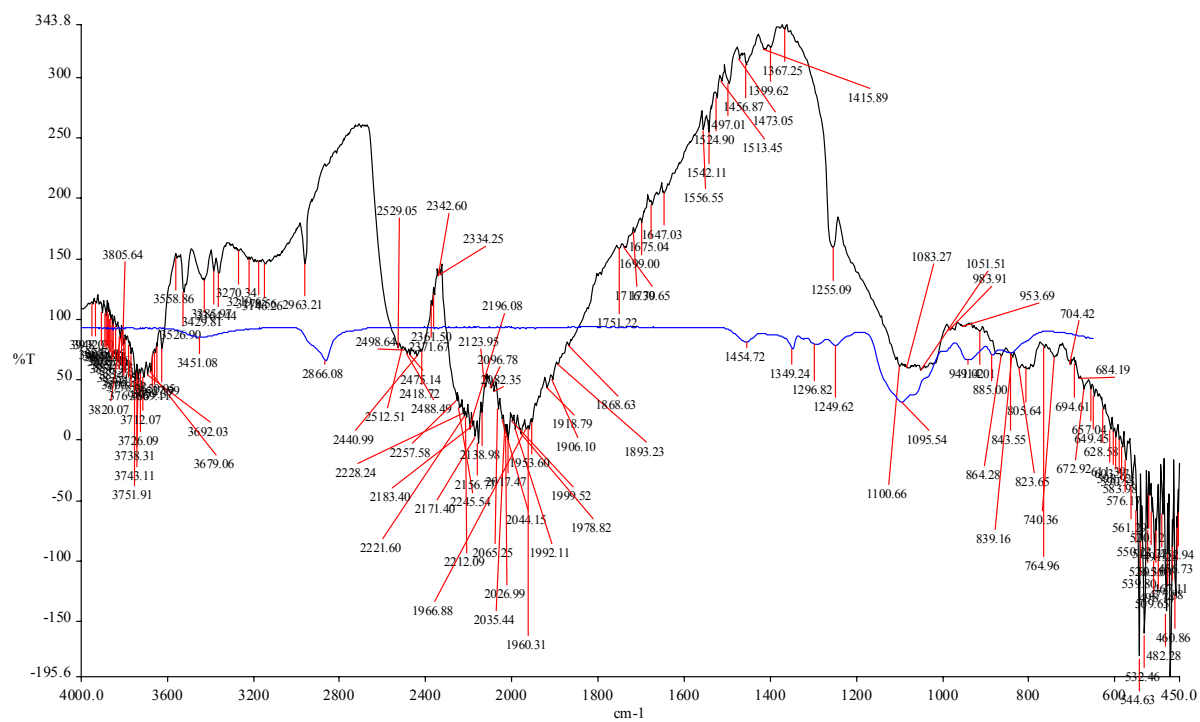
Spektrum 6: Sort 3E + frysetørring. Blå: PEG 400. Rød: PEG 4000.

8.6 Vurdering av frysetørkingsprosessen innvirkning på PEG

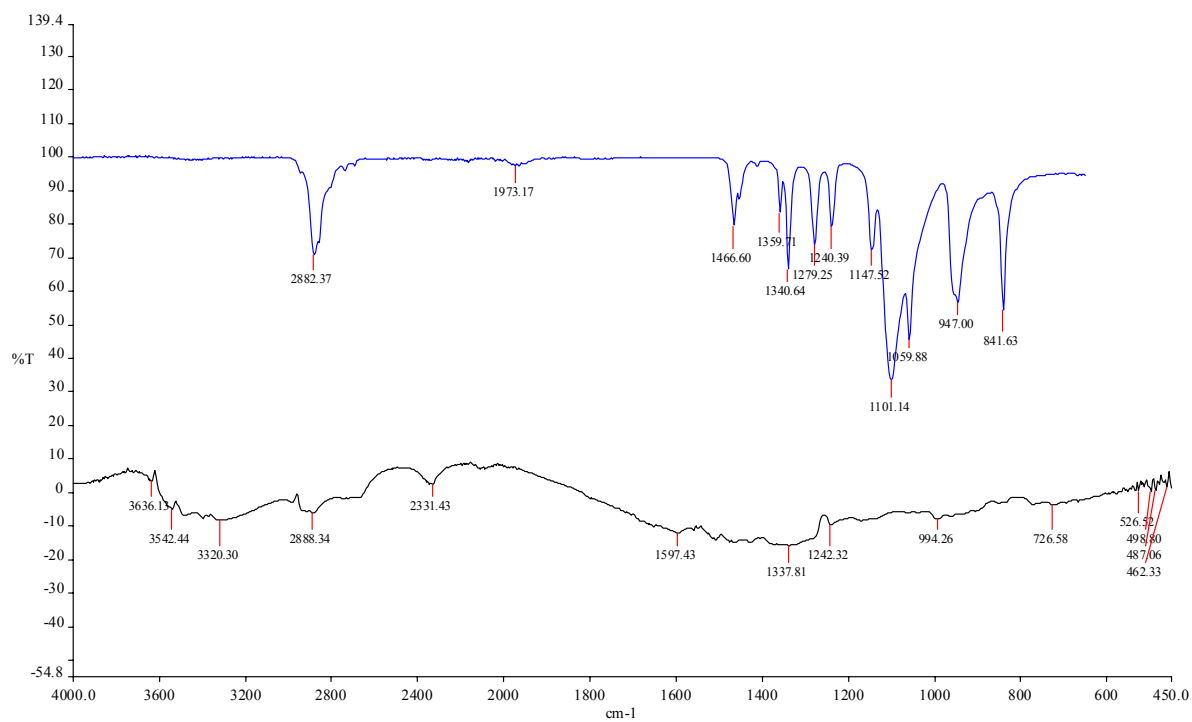
8.6.1 Fluoriserende mikroskopi

Del	Resultat
Ubehandlet	Undersøkelsen indikerte stor grad av fluorescens i tresubstansen, særlig inne i celleveggene. Men fluorescensen var også fraværende, og/eller kun delvis i en god del celler. <i>Se vedlegg O, fig. 17 for bilder av ubehandlet farget snitt.</i>
1B	En rekke av celleveggene fluorescerte, men ved nærmere ettersyn gjaldt ikke dette for alle cellene. Det så også ut til at det kun var den ytre delene av celleveggen som fluorescerer. <i>Se vedlegg O, fig 2.</i>
1D	En stor del av cellene fluorescerte, men enkelte celler fluorescerte ikke.. <i>Se vedlegg O, fig 4.</i>
1F	En god del av cellene fluorescerte. Enkelte celler fluorescerte ikke. <i>Se vedlegg O, fig 4.</i>
2B	Svært lite eller ingen antydning til fluorescens. Denne var kun i større hulrom, dvs. cellenes midtlumina, eller partikler oppå tresnittene som fluorescerte. <i>Se vedlegg O, fig 8.</i>
2D	Enkelte cellers cellevegg fluorescerer, andre fluorescerer ikke. Ingen jevn fluorescens. <i>Se vedlegg O, fig 9.</i>
2F	Svært liten antydning til fluorescens. Antydning til fluorescerende cellevegger hos enkelte celler, disse var allikevel i fåtall. <i>Se vedlegg O, fig 11.</i>
3B	Svært lite fluorescens, enkelte tilfeller eksisterte, men dette gjaldt celleveggen til svært få celler. <i>Se vedlegg O, fig 11.</i>
3D	Enkelte cellers cellevegg fluorescerte, andre fluorescerte ikke. Ingen jevn fluorescens. <i>Se vedlegg O, fig 12.</i>
3F	Mange av cellene fluorescerte, men ikke alle. <i>Se vedlegg O, fig 14.</i>
4B, 4D, 4F	Ikke undersøkt. Det ble ikke produsert nok farge.

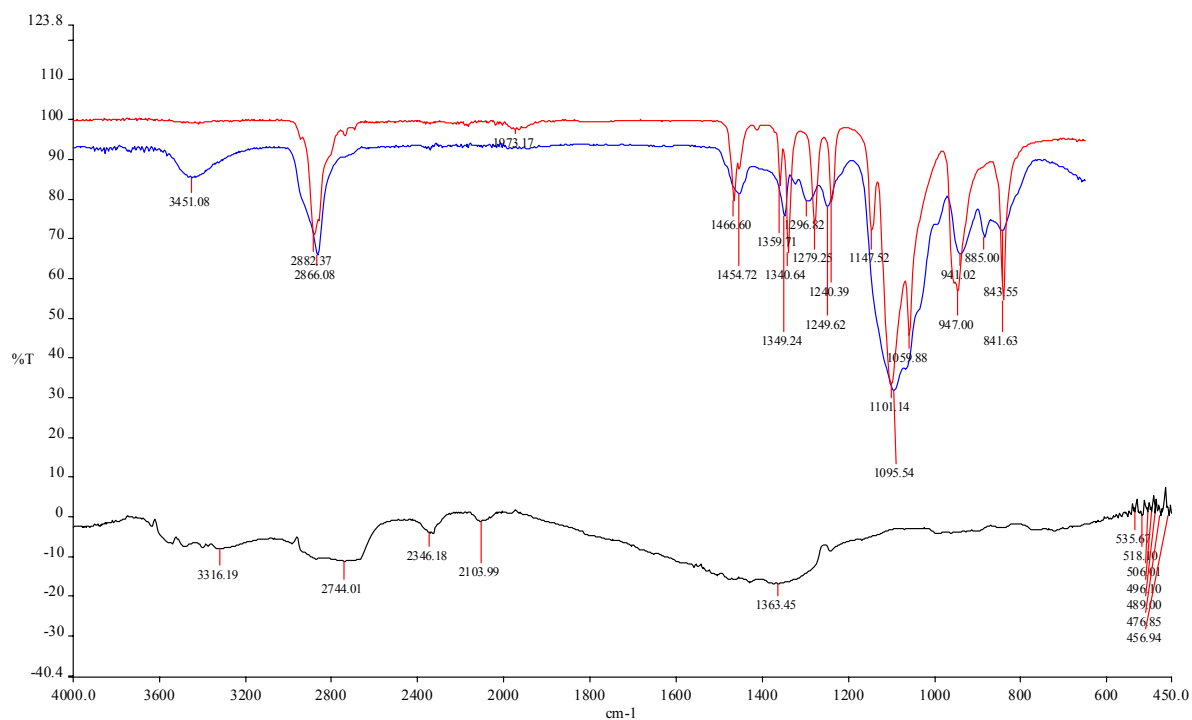
8.6.2 FT-IR



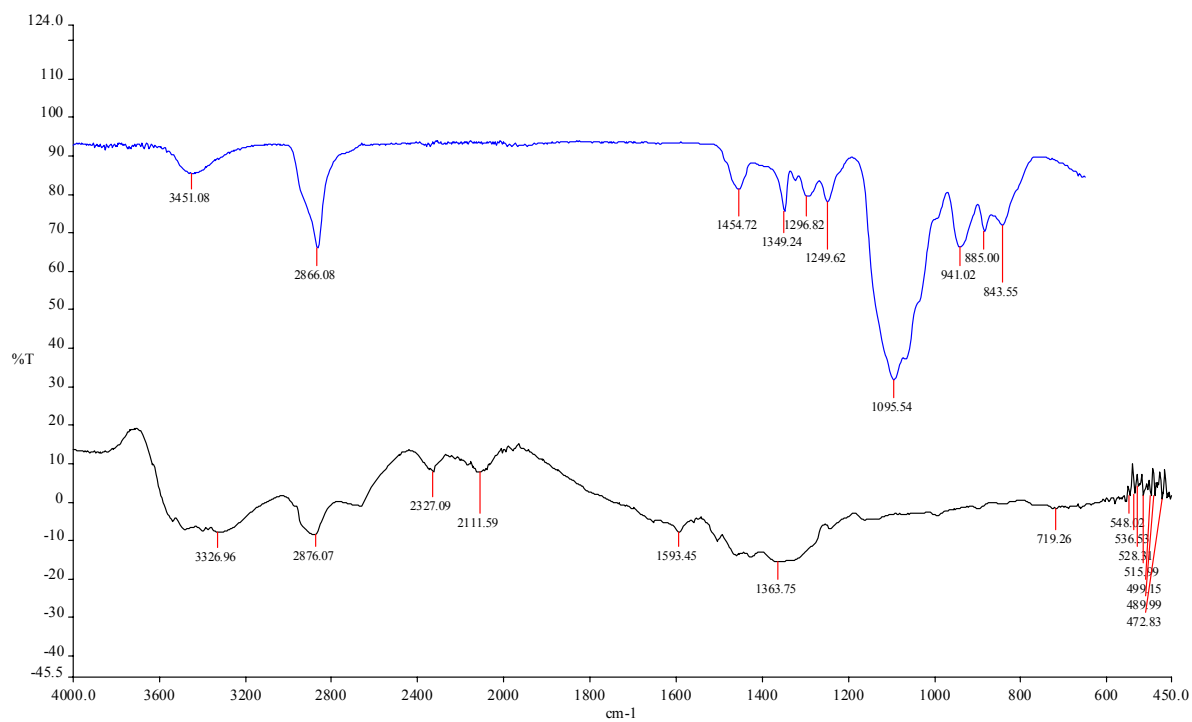
Spektrum 7: Sort: 2B – frysetørring. Blå: PEG 4000



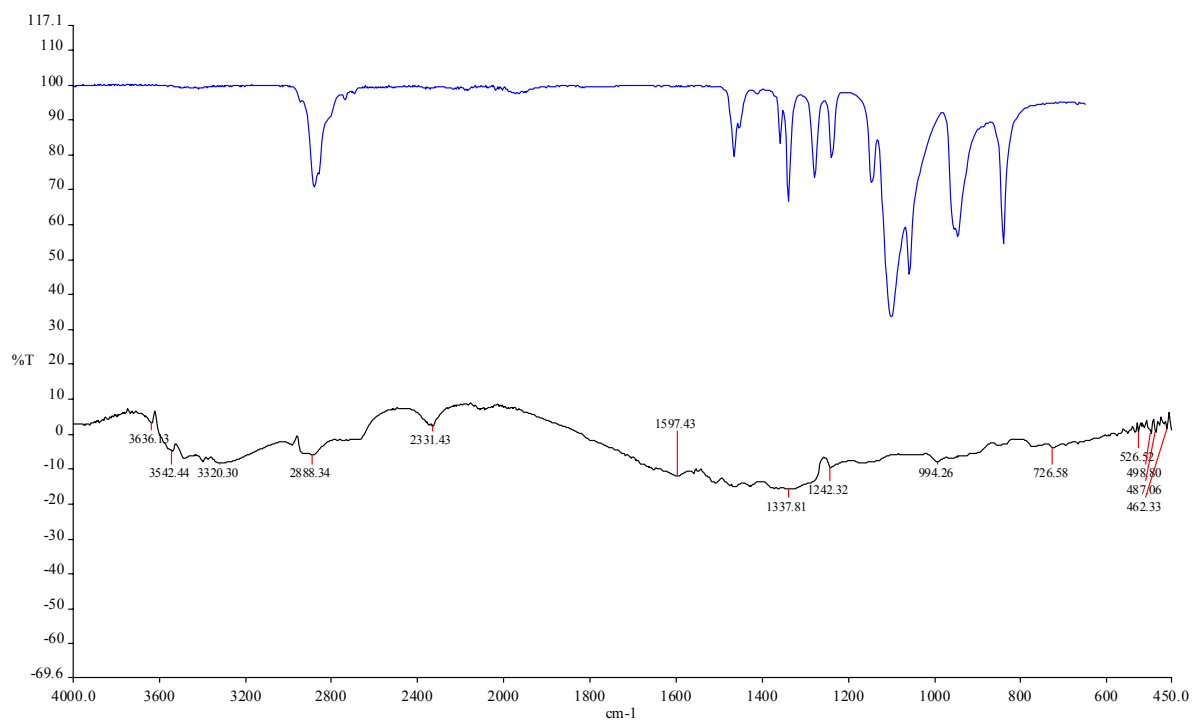
Spektrum 8: Sort: 2D - frysetørring. Blå: PEG 4000



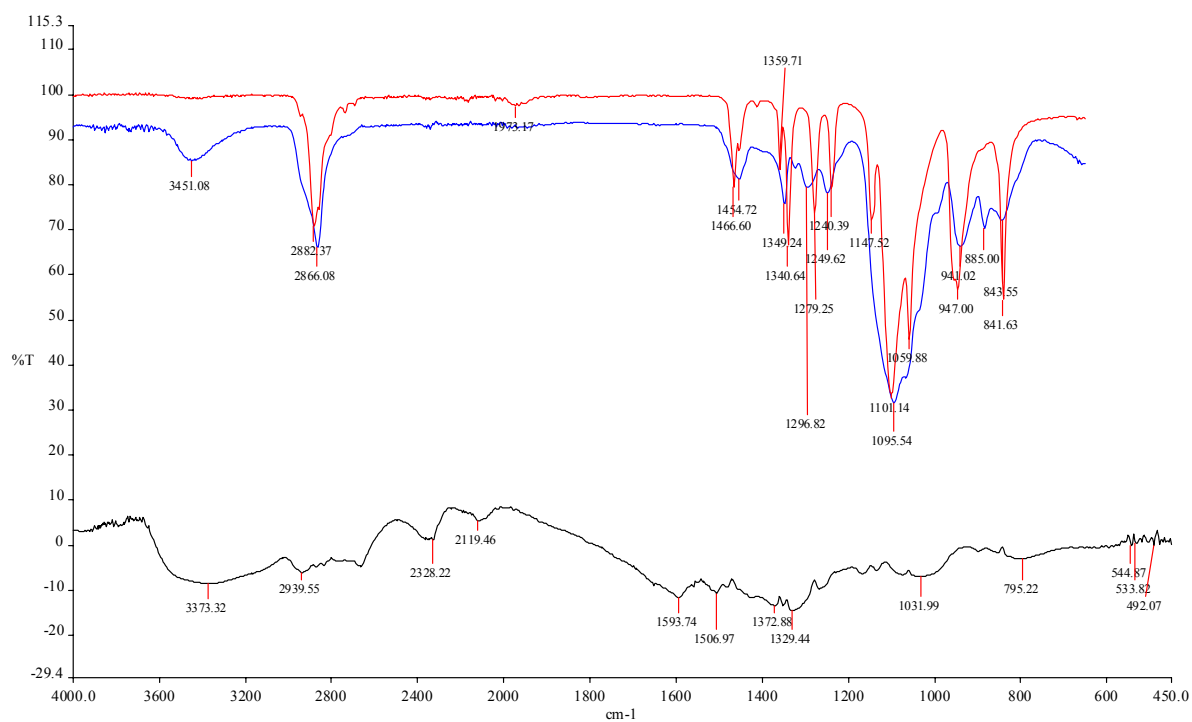
Spektrum 9: Sort: 2F - frysetørring. Blå: PEG 400. Rød: PEG 4000.



Spektrum 10: Sort: 3B - frysetørring. Blå: PEG 400.



Spektrum 11: Sort: 3D – frysetørring. Blå: PEG 4000



Spektrum 12: Sort: 3F - frysetørring. Blå: PEG 400. Rød: PEG 4000.

9 Diskusjon

9.1 Identifisering av tresort

Identifiseringen av treet bød ikke på særlig store problemer. Snittene viste seg å være en anelse tykke, men dette bidro kun til at bildene ble noe mørke og at det var noe vanskeligere å tyde det tangentiale snittet.

9.2 Evaluering av nedbrytningsgrad

Resultatene fra De Jongs nåletest indikerte at alle trefragmentene hadde en nedbrutt ytre del og en rimelig intakt velbevart kjerne. Sammenlignes resultatene fra de fire fragmentene tyder målingene på at fragmentene var rimelig likt nedbrutt da det ikke eksisterte store forskjeller i nålens inntregning i de fire fragmentene. Dette kan også skyldes at høyden nålen ble sluppet fra var noe lav, om en høyere slipphøyde hadde blitt valgt kunne forskjellene ha vært større.

Resultatene fra tetthetsanalysen var også svært like, noe som støtter opp under antagelsen om nedbrytningsgraden til fragmentene var lik. I forhold til tetthetsstandardene for nytt tre indikerte tetthetsmålingene at treet er rimelig nedbrutt, med målinger mellom $108 - 115 \text{ g/cm}^3$ i forhold til tetthet til nytt tre (eik) som er målt å være ca 720 kg/m^3 (www.trefokus.no).

Vanninnholdet i fragmentene varierte noe. Mens fragment I og fragment III hadde et vanninnhold som faller inn under klasse 3, altså under 185% vanninnhold, ble fragment II og IV klassifisert i klasse 2 med et vanninnhold på 189 % og 214%. Det må her nevnes at vanninnholdet til fragment IV vanninnhold lå helt på grensen mellom klasse 3 og klasse 2. Vanninnholdet i fragment II lå ikke mye over grensen for klasse 2 og det kan sies at fragment II og IV var i det øvre skiktet av klassen middels nedbrutt tre, mens fragment I og III var i det nedre skiktet av lite nedbrutt tre. Slik sett indikerer også resultatene fra måling av vanninnholdet at de fire fragmentene var rimelig likt nedbrutt.

Det kan på bakgrunn av de oppnådde resultatene konkluderes med at de fire fragmentenes nedbrytningsgrad var svært lik. De kan alle klassifiseres i grenseområder mellom klasse 3 og klasse 2 og resultatene indikerer at alle fragmentene hadde en intakt og velbevart kjerne.

Resultatene fra De Jong nåle testen og vanninnholdsmålingene støtter særlig opp om hverandre.

9.3 Diffusjonseksperiment

9.3.1 Diffusjonsundersøkelse I

Den første diffusjonsundersøkelsen ble avbrutt etter kort tid da resultatene fra målingene av brytningsindeksen viste at konsentrasjonen i de to diffusjonsavdelingene ikke endret seg i løpet av de ti første målingene. Årsakene til dette kan ha vært at treet var så lite nedbrutt at PEG molekylene ikke diffunderte gjennom treet. Dette er en lite sannsynlig forklaring da treet uansett er gjennomtrengbart for vann og at vannet dermed skulle ha diffundert inn i diffusjonsavdelingen med PEG. Samtidig indikerte nedbrytningsanalysene at treet var på grensen mellom lite og middels nedbrutt noe som igjen resulterer i at større mengder væske diffunderer gjennom treet. En mer sannsynlig årsak er at væskevolumet i avdelingene har vært for stort og at diffusjon har funnet sted, men at denne har gitt svært små utslag på brytningsindeksen grunnet det store væskevolumet. Samtidig kan tredelen som ble benyttet i undersøkelsen ha hatt en for liten overflate, som tidligere nevnt er dette en av faktorene som påvirker diffusjonshastigheten.

De minimale endringene i diffusjonsavdelingenes brytningsindeks var årsaken til at diffusjonseksperimentet ble gjennomført for andre gang.

9.3.2 Diffusjonsundersøkelse II

Under det andre diffusjonsforsøket ble konsentrasjonen i begge avdelingene målt. I tillegg innholdt diffusjonsavdelingene betraktelig mindre væske, dette for at konsentrasjonsendringene skulle være mer målbare. Det er mindre PEG løsning som må diffusere over i det andre kammeret for få målbare endringer.

Målingene fra diffusjonsenhet I indikerte at PEG 400 hadde diffundert gjennom treet og over i avdelingen med H₂O, samtidig som H₂O hadde diffundert gjennom treet og inn i avdelingen med PEG 400. Endringene i brytningsindeks som ble observert i denne undersøkelsen viste at konsentrasjonsendringene i begge avdelingene samsvarte både i tid og mengde. Dette

indikerte at væskene hadde diffundert med samme hastighet. Av eksperimentet kan man derfor slutte at PEG 400 har diffundert gjennom treet og at riktig tykkelse på delene ble valgt. Målingen fra diffusjonsenhet II indikerte at PEG 4000 har diffundert over i avdelingen med H_2O for så å diffundere tilbake. Dette er en lite sannsynlig forklaring da diffusjon innebærer forflytning fra høy til lav konsentrasjon. En mulig forklaring på fenomenet er at en temperaturendring har resultert i at den refraktive indeksen har endret seg. Dette kan f. eks. skyldes håndtering av refraktometeret. Det samme gjelder for resultatene for diffusjonen av H_2O over i PEG 4000 avdelingen.

Målingene fra diffusjonseksperiment III indikerte at PEG 400 hadde diffundert gjennom treet, men at dette ikke var tilfelle for H_2O . Verdisvingningene som disse resultatene også indikerte, kan skyldes temperaturendringer. Resultatene fra diffusjonseksperiment III indikerte at vakuumbehandlingen ikke påvirket diffusjonen av PEG 400 gjennom treet, heller tvert imot. Siden det ikke er kjørt parallelle undersøkelser er dette kun en antagelse som på ingen måte kan bekreftes.

Det kan her konkluderes med at utregningen av gjenstandens mål i den langsgående retningen var riktige i henhold til behandlingens varighet, og at tallene fra undersøkelsen foretatt av Dean m. fl.(1996) kan benyttes til å kalkulere mål ut fra tilgjengelig behandlingstid og omvendt.

Det er viktig å huske på at diffusjonen i et impregneringsbad skjer fra begge endene, ikke kun fra en side til en annen som var tilfelle i alle diffusjonsforsøkene. Hvis man tenker seg at PEG diffunderer inn fra begge sidene, halveres diffusjonsavstanden. Dette betyr at tre delene som ble behandlet ble impregneret i løpet av et kortere tidsrom. Om tidsforløpet slik har blitt halvert vites ikke, da det ikke har vært mulig å undersøke diffusjonen i impregneringsbadene. Ytterligere undersøkelser kan kanskje bidra til å belyse dette området. Siden diffusjon i tre ikke var oppgavens primære fokus, ble det ikke satt av mer tid til å undersøke dette.

9.4 Vurdering av behandlingsprosedyrens effektivitet

ASE tallene for delene 1-4 G indikerer at behandlingsprosedyren har vært svært vellykket og at behandlingen ikke har resultert i store dimensjonale endringer. De prosentvise ASE

verdiene var generelt lavere i den radiale retningen. Undersøkelser av hvordan tre krymper når det tørker har vist at det krymper mest i den tangentielle retningen, mens det krymper minst i den langsgående retningen (Grattan 1987:62). ASE resultatene fra denne undersøkelsen følger ikke dette mønsteret da den radiale krympingen her har vært størst. En mulig forklaring på dette er ikke funnet. Gjennomsnittsverdiene viser at behandlingen har vært effektiv, noe som indikerer at PEG molekylerne har diffundert ordentlig inn og stabilisert treet på en god måte.

9.5 Lokalisering av PEG

9.5.1 Fluorescerende mikroskopi

Det oppsto store problemer under selve fargeprosedyren da det viste seg at kobolt tiocyanatet ikke ville løse seg opp i det vannfrie etyleteret. Dette selv om fargeoppskriften ble fulgt nøyaktig som beskrevet. I følge fargeprosedyren skulle det etter kort tid utvikles en dyp blå farge (Young & Sims; Young & Wainrig ht). Dette skjedde aldri og resultatet var et bunnfall av rødbrunt kobolt tiocyanat. Etter å ha latt blandingen stå i ca. tre uker hadde den fått en svak blå farge, men denne var ikke i nærheten av den fargen som ble beskrevet i fargeprosedyren.

En rekke personer ble kontaktet for å oppklare eventuelle missforståelser som kunne ha oppstått. Det lot seg ikke gjøre å komme i kontakt med de rette personene og mulige forklaringer måtte derfor søkes i selve fremgangsmåten og den tilgjengelige litteraturen

Årsaken til at det ikke ble utviklet en dyp blå farge, kan ha vært at den første utblandingen av fargekomponentene ikke foregikk i et kammer med lav luftfuktighet. Fuktighet fra omgivelsene kan derfor ha forurenset blandingen og bidratt til at blå fargen ikke utviklet seg. En mulig forklaring er at kobolt i vandige løsninger eksisterer som akvaioner og har en rosa farge. I det kobolt dehydreres får det en blå farge (Kofstad 1987:424). Det var derfor helt nødvendig at kobolt tiocyanatet ikke ble tilført vann for at blåfargen skulle kunne utvikles. Det ble foretatt en ny utblanding av fargekomponentene i en hanskeboks hvor luftfuktigheten ble målt til å være 2,5%, og fuktigheten i omgivelsene var slik minimal. Heller ikke denne gangen utviklet det seg en klar blå farge. Forurensning av fuktighet fra omgivelsene var trolig ikke årsaken til at blåfargen uteble. Antagelsen støttes ytterligere ved at kobolt i kontakt med

vann skal resultere i en rosa farge. Dette var aldri tilfelle under utblandingen av fargekomponentene.

Det kan heller ikke forklares at blandingen plutselig utviklet et klar blå farge i det den kom i kontakt med tresnittene, dette var ingen generell tendens, og skjedde kun ved et par anledninger. Heldigvis gav dette nok farge til at de fleste snittene kunne farges og deretter analyseres under UV lys. Det var nødvendig å tynne fargen noe ut for at alle snittene skulle få farge, men dette skulle også gjøres med den opprinnelige fargen, se kapittel 7.51, og skulle derfor ikke påvirke analyseprosessen i særlig stor grad.

Resultatene fra analysene foretatt med fluorescerende mikroskopi indikerte at PEG 400 har trengt inn i cellenes cellevegg. Resultatene for PEG 4000 er derimot ikke like klare og indikerte tilstedeværelse av PEG i enkelte cellevegger. Resultatene fra analysene av tre behandlet med tostegsmetoden indikerer at PEG også her har trengt inn i de fleste cellenes cellevegg. Hvilken PEG vites ikke, da resultatene fra de to foregående behandlingsmetodene indikerte at både PEG 400 og PEG 4000 kan ha trengt inn i celleveggen. Siden resultatene for PEG 400 viser svært få fluorescerende celler kan man anta at det hovedsaklig er PEG 400 som har trengt inn i celleveggen. Ut i fra undersøkelser foretatt av Jensen (1996) skal ikke PEG 4000 molekylerne kunne trenge inn i celleveggen, da disse molekylerne er for store til at dette skal kunne skje. Resultatene som fremkom i denne undersøkelsen underbygger ikke denne påstanden. Det er allikevel lite trolig at så store molekyler, som PEG 4000 består av, virkelig har trengt inn i celleveggen. Undersøkelsen foretatt av Young og Sims (1989) viste også at svært lite høymolekylærvekts PEG hadde trengt inn i celleveggen. Dette støtter antagelsen om at det hovedsaklig er blitt lokalisert lavmolekylærvekts PEG inne i celleveggen.

Resultatene av det behandlede tresnittene må sees i lys av det ubehandlede snittet. Analysen viste her en stor grad av fluorescens inne i celleveggene, samtidig er fluorescensen fraværende på enkelte områder. Dette stemmer ikke overens med det forventede resultatet, da ubehandlet tre skal fluorescere fullstendig siden PEG ikke er tilstede og slik ikke kan forhindre treets naturlige fluorescens. En mulig forklaring er at snittene ikke har blitt skikkelig farget. Det kan relateres til problemene som oppsto under blandingen av fargekomponentene. Samtidig farges ikke tresubstansen. Kobolt tiocyanatet farger kun PEG. At lite farge ble produsert og at denne til slutt måtte tynnes ut, kan ha bidratt til å gi feil resultater.

Resultatene av analysene av tostegsbehandlet tre må sees i lys av behandlingsprosedyrens effektivitet. Behandlingen viste seg å være svært vellykket. Dette underbygger resultatene om at det er lokalisert PEG inne i de fleste av trecellenes cellevegg. At enkelte deler har krympet noe i de forskjellige retningene kan forklare fluorescens i enkelte cellevegger, da ikke alle cellene er blitt impregnert. Dette kan ha resultert i at de dimensjonale endringene ASE utregningene indikerer har funnet sted. se kapittel 9.3. Om PEG ikke hadde trengt skikkelig inn i treet og forårsaket at verken cellene eller treet generelt holdt sin opprinnelige form, ville det sannsynligvis vært observert en større andel fluorescerende celler, enn det som observeres etter på tresnitt som er tostegsbehandlet/frysetørret. En annen mulig forklaring på at celler fra i snitt fra del E fluorescere, kan være at cellene har vært rimelig intakte og at celleveggskomponentene ikke har blitt brutt ned. Resultatene fra nedbrytningsanalysene indikerte at treet befant seg overgangen mellom klasse 3 og klasse 2. Treet klassifiseres derfor som lite til middels nedbrutt og fluorescerende cellevegger kan derfor ha skyldtes intakte treceller.

Det bør nevnes at produktene som ble benyttet til fargeprosessen var både giftige og helseskadelige. Fenol er et kreftfremkallende materiale og kobolt tiocyanat er giftig. Eter er bedøvende og kan forårsake besvimelse og kvalme. Det var derfor viktig å benytte nødvendig verneutstyr. Beskyttelsesbriller, beskyttelseshansker og gassmaske ble derfor benyttet under all håndtering av materialene.

9.5.2 FT-IR

Resultatene fra analysene av de behandlede tresnittene ble sammenlignet med spektraene for henholdsvis PEG 400 og PEG 4000, eller begge to (tostegbehandlet tre) Analysene av 2A og 3A viste en antydning til to sammenfallende topper med PEG 400, en rundt 2850 cm^{-1} og en rundt 1460 cm^{-1} . Dette kan være en indikasjon på at det er lokalisert PEG 400 inne i celleveggen. For 2C og 3C var det kun en topp som delvis sammenfalt, rundt 1360 cm^{-1} . Resultatene for 2E og 3E viste antydning til to sammenfallende topper, en rundt 2880 cm^{-1} og en rundt 1360 cm^{-1} .

En ulempe med bruk av FT-IR er at det ofte forekommer overlappende topper, det vil si at en topp overskygger en annen topp som representerer en binding på det omtrentlig samme område (Mills & White 1994). Dette kan i denne undersøkelsen ha resultert i at

karakteristiske topper for PEG har blitt overlappet av topper som representerer den kjemiske sammensetningen til treet. Mange av toppene mellom 1700 cm^{-1} og 1000 cm^{-1} representerer de kjemiske bestanddelene i tre. Også PEG 400 og PEG 4000 har karakteristiske topper i dette området, men i tillegg noen klare topper mellom 850 cm^{-1} og 1000 cm^{-1} . Slik sett kan bindinger i de kjemiske komponentene til treet ha resultert i topper som har overlappet toppene til bindingene i PEG.

På grunnlag av dette kan få sammenfallende topper være en indikasjon på at det er lokalisert PEG inne i celleveggen, men dette kan på ingen måte bekreftes. Nesten alle spektraene av behandlet tre, har en topp som befinner seg mellom 1360 cm^{-1} og 1370 cm^{-1} . Hemicellulose representeres også av en topp rundt 1370 cm^{-1} (McLeod & Richards 1996), som kan skygge for nærliggende topper som er karakteristiske for PEG. PEG har en topp rundt 1350 cm^{-1} , denne kan dermed ha blitt overlappet av topper/bånd som representerer hemicellulose. Både PEG 400 og PEG 4000 har klare topper rundt 1050 cm^{-1} - 1100 cm^{-1} . Ingen av spektraene for behandlet tre har gitt utslag i topper i dette området. Dette kan avkrefte antagelsen om at PEG 400 har blitt lokalisert inn i celleveggen.

Dette er kun en mulig forklaring. Eksakt kunnskap om toppenes plassering for de ulike materialene er nødvendig for å bekrefte eller avkrefte denne antagelsen. Forfatteren sitter ikke inne med slik kunnskap og ytterligere undersøkelser er nødvendig for å danne et tydelig bilde omkring materialenes bindinger og spektrum. Selve identifikasjonen av spektraene og karakteriseringen av hva man ser, regnes som en av de største utfordringene i bruk av FT-IR (Mills & White 1994).

For måte å forbedre resultatene og dermed få mer tolkbare resultater og spektra, kan være å trekke fra spektraene til de kjemiske bestanddelene i treet; cellulose, hemicellulose og lignin. Dette lot seg ikke gjøre i denne undersøkelsen, men en slik prosess kunne ha gitt et tydeligere spektra og dermed en klarere indikasjon på hva som befinner seg inne i celleveggen.

9.6 Vurdering av frysetørkingsprosessen innvirkning på PEG

9.6.1 Fluorescerende mikroskopi

Fargeproblemene som oppsto under gjennomføringen av analysene er relevante også for denne undersøkelsen. Resultatene må også derfor også her sees i lys av disse problemene.

Resultatene indikerte at PEG 400 ikke har trengt inn i celleveggen før frysetørningsprosessen, men at dette har skjedd etter at frysetørringen har funnet sted. Dette kan bety at det faktisk er frysetørningsprosessen som presser PEG molekylene inn i celleveggen. Ikke alle cellene i B delene fluorescerer og fluorescensen er ikke totalt fraværende på alle A delene. Dette kan bety at noe lavmolekylærvekts PEG diffunderer inn i cellene før frysetørringen, men at det hovedsaklig er frysetørringen som presser PEG molekylene inn. Tendensen var imidlertid at det var mer fluorescens i celleveggene på snittene som ikke var frysetørket. Dette forsterker antagelsen om at lavmolekylærvekts PEG trekker inn i cellene i løpet av frysetørningsprosessen. Resultatene for PEG 4000 indikerer ingen store forskjeller mellom tre som var frysetørret og tre som ikke var frysetørret. Dette er i samsvar med undersøkelser som viser at høymolekylærvekts PEG ikke trenger inn i celleveggen (Jensen 1996; Young & Sims 1989). For tre behandlet med tostegsmetoden var det antydning til fluorescens i enkelte cellevegger både før og etter frysetørring. Resultatene tydet allikevel på at mengden celler som fluorescerte var høyere før frysetørningsprosessen, noe som gir ytterligere hold til antagelsen om at PEG 400 presses inn i celleveggen under frysetørringen.

9.6.2 FT-IR

Resultatene fra FT-IR mikroskopianalysene viste få sammenfallende topper for PEG 400 før frysetørring, det samme gjaldt for PEG 4000 og tostegsmetoden. Selv om disse resultatene er en indikasjon på at PEG molekylene ikke har trengt inn i celleveggen før frysetørringen har funnet sted, må de sees i lys av FT-IR resultatene for frysetørret tre. Toppene som sammenfaller i de aktuelle spektraene er svært få. På grunnlag av resultatene fra analysene foretatt med FT-IR mikroskopi er det derfor ikke mulig å konkludere med at frysetørningsprosessen påvirket PEG molekylene plassering i cellene. Problemene beskrevet i kapittel 7.5.2 om sammenfallende topper med de kjemiske bestanddelene i treet og PEG er også aktuelle her og kan ha påvirket spektrumenes topper.

10 Konklusjon

Det har under gjennomføringen av denne undersøkelsen vært mulig å danne seg en helhetlig forståelse av hva tre er og de ulike konserveringsmetodene som har blitt benyttet til å stabilisere vått arkeologisk tre. Det har også vært mulig å utvikle, planlegge og gjennomføre en metodologi og utføre relevante analyser for å svare på oppgavens hovedproblemstilling.

Det har ved hjelp av to ulike analysemetoder; fluorescerende mikroskopi og FT-IR mikroskopi, blitt forsøkt å lokalisere PEG i trecellene. Undersøkelsene som er gjennomført indikerer at det hovedsaklig er lavmolekylærvekts PEG som har trengt inn i cellenes cellevegg, men at også høymolekylærvekts PEG i enkelte tilfeller kan ha diffundert inn i celleveggen. Dette skal ifølge tidligere undersøkelser ikke være mulig (Jensen 1996).

Undersøkelsene foretatt av frysetørningsprosessen innvirkning på PEG molekylene plassering, indikerte at lavmolekylærvekts PEG under frysetørringen har blitt presset inn i celleveggen. Undersøkelsen indikerte at dette skjer i varierende grad og at PEG også forut for frysetørringen kan ha diffundert inn i cellenes cellevegg.

Av metodene som ble benyttet, gav undersøkelsene med fluorescerende mikroskopi av på forhånd fargede snitt, resultater som var forholdsvis enkle å tolke. Samtidig må resultatene sees i lys av de problemene som oppsto underveis i fargeprosedyren. Siden det ikke ble utviklet nok farge til å analysere en tilstrekkelig mengde tresnitt, må det ytterligere undersøkelser til for at en sikker konklusjon kan trekkes.

Resultatene fra FT-IR mikroskopi var svært vanskelig å tolke, dette kan ha skyldtes overlappende topper i spektrumet. Om spektraene for de kjemiske bestanddelene i treet hadde vært tilgjengelige og kunne ha blitt trukket i fra spektrumet fra trecellene, kunne kanskje resultatene ha vært tydeligere.

Resultatene må også sees i lys av behandlingsprosedyrens effektivitet. Behandlingen med 15 % PEG 400/30% PEG 4000 etterfulgt av frysetørring viste seg å være svært vellykket. Enkelte mindre dimensjonale endringer hadde funnet sted, men disse var generelt sett ikke særlig store. Denne undersøkelsen har derfor indikert at kunnskap om distribusjonen til

lavmolekylærvekts PEG og høymolekylærvekts PEG, kan relateres til en bestemt behandlingsprosedyres effektivitet.

11 Referanser

- Adams, G. 1994 Freeze drying – Art or science? I *A celebration of wood*. Red. J. Spriggs, York s. 49-54
- Andersen, L. M. 1993 *Frysetørring af arkeologisk træ*. Konservatorskolen, Det Kongelige Danske Kunstakademi.
- Astrup, E. 1993 A medieval loghouse in Oslo – Conservation of waterlogged softwoods with polyethylene glycol. I *Proceedings of the 5th ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference, Portland/Maine*. Red. P. Hoffmann, K. Strætkvern, J. Spriggs & D. Gregory. Bremerhaven, s. 41-50
- Bernard-Maugrion, H., Ginier-Gillet, A., & Tran, Q. 1990 The Necessary adjustments of the polyethylenglycol impregnation/freeze drying method for the treatment of medium-sized waterlogged archaeological wood. I *Proceedings of the 4th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials. Bremerhaven*. Red. P. Hoffmann. Deutsches Schiffahrtsmuseum s. 215-238.
- Blanchette, R. 2000 A review of microbiological deterioration found in archaeological wood from different environments. *International biodeterioration & biodegradation* 46:189-204
- Blanchette, R & Hoffmann, P 1993 Degradation processes in waterlogged archaeological wood. I *Proceedings of the 5th ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference, Portland/Maine*. Red. P. Hoffmann, K. Strætkvern, J. Spriggs & D. Gregory. Bremerhaven, s.111-142
- Bjørddal, C. & Nilsson T. 2001 Decomposition of waterlogged archaeological wood. I *Proceedings of the 8th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials. Stockholm* Red. P. Hoffmann, J. Spriggs, T. Grant, C. Cook & A. Recth. ICOM, Bremerhaven, s. 235-247
- Bouquin, E. & Crawshaw, A. 2004 Recent literature on PEG degradation. I *Proceedings of the ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference, Copenhagen*. Red. P. Hoffmann, K. Strætkvern, J. Spriggs & D. Gregory. Bremerhaven, s. 627-628
- Brill, T. 1980 *Light, its interaction with art and antiquities*. Plenum Press, New York & London
- Chaumat, G. Barteaux, J., Dubois, N. Lacand, P. & Besson, G. 2001 Contribution to the optimization of PEG concentrations in waterlogged degraded wood suitable for subsequent freeze-drying treatments. I *Proceedings of the 8th ICOM group on wet*

- Organic Archaeological Materials. Stockholm* Red. P. Hoffmann, J. Spriggs, T. Grant, C. Cook og A. Recth. ICOM, Bremerhaven, s. 363-377
- Christensen, B. 1970 *The Conservation of waterlogged wood in the national museum of Denmark*. National Museum of Denmark, Copenhagen
- Crawshaw, A. 2006 *Personlig korrespondanse*.
- Cronyn, J. M. 1990 *The elements of archaeological conservation*. Routledge, London and New York
- Dean, L., Jones, A. & Jones E. 1996 Diffusion rates of PEG into wet archaeological oak. I *Proceedings of the 6th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials*. York. Red. P. Hoffmann, J. Spriggs, T. Grant og T. Daley. ICOM, Bremerhaven s. 435-450
- Derrick, M., Stutlik, D. & Landry, J. 1999 *Infrared spectroscopy in conservation science. Scientific tools for conservation*. The Getty Conservation Institute.
- Florian, M.L. 1990 Identification of Plant and Animal Materials in Artefacts. I *The Conservation of Artefacts made from plant materials*. Red. M.-L. Florian, D. Kronkright, & R. Norton. The J. Paul Getty Trust, s. 29-82
- Geymayer, P., Glass, B. & Leidl, E. 1990 Oxidative degradation of polyethylenglycols. I *Proceedings of the 4th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials*. Bremerhaven. Red. P. Hoffmann. Deutsches Schiffahrtsmuseum s.
- Glastrup, J. 1996 degradation of PEG –a review. I *Proceedings of the 6th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials*. York. Red. P. Hoffmann, J. Spriggs, T. Grant og T. Daley. ICOM, Bremerhaven s.377-383
- Grattan, D. 1982 A practical comparative study of several treatments for waterlogged wood. *Studies in Conservation* 27:124-136
- Grattan, D. 1987 Waterlogged wood. I *Conservation of marine archaeological objects*. Ed. Pearson, C. Butterworths, s. 55-67
- Grattan, D. & Clarke, R. 1987 Conservation of waterlogged wood. I *Conservation of marine archaeological objects*. Ed. Pearson, C. Butterworths, s 164-206
- Grattan, D. & Horvath, M. 1993 The test treatment of waterlogged wood from the Biskupin archaeological site, Poland. I *Proceedings of the 5th ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference, Portland/Maine*. Red. P. Hoffmann, K. Strætkvern, J. Spriggs & D. Gregory. Bremerhaven, s. 23-40
- Gregory, D., Matthiesen, H. & Bjordal C. 2001 In situ preservation of artefacts in Nydam Mose: Studies into environmental monitoring and the deterioration of wooden artefacts. I *Proceedings of the 8th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials*.

- Stockholm Red. P. Hoffmann, J. Spriggs, T. Grant, C. Cook og A. Recth. ICOM, Bremerhaven, s. 213-224
- Haygreen, J. & Bowyer, J. 1996 *Forest Products and wood science*. 3rd edition. Iowa state university Press.
- Hoadley, R. B. 1980 *Understanding wood. A craftsman's guide to wood technology*. The Taunton Press.
- Hoadley, R. B. 1990 *Identifying wood. Accurate results with simple tools*. The Taunton Press
- Hoffmann, P. 1981 Chemical wood analysis as a means of characterizing archaeological wood. I *Proceedings of the ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference, Ottawa*. Red D. Grattan. ICOM, s73-83
- Hoffmann, P. 1986 On the stabilization of waterlogged oakwood with PEG. Designing a two-step treatment for multi-quality timbers. I *Studies in conservation*, volume 31:103-113
- Hoffmann, P 1990 Sucrose for the stabilization of waterlogged wood – some investigations into anti-shrink-efficiency (ASE) and penetration. I *Proceedings of the 4th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials. Bremerhaven*. Red. P. Hoffmann. Deutches Schiffahrtsmuseum s. 317-330
- Hoffmann, P. 2001 The Conservation of the Bremen Cog – the final years. I *Proceedings of the 8th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials. Stockholm* Red. P. Hoffmann, J. Spriggs, T. Grant, C. Cook og A. Recth. ICOM, Bremerhaven, s.27-54
- Hoffmann, P. & Kuhn, H. J. 1998 The candy ship from Friesland. I *Proceedings of the 7th ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference, Grenoble/France*. Red. C. Bonnot-Diconne, X. Hiron, Q. Khoi Tran, P. Hoffmann. Bremerhaven s. 196-203
- Horie, V. 1989 *Materials for conservation*. Butterworth – Heinemann, Oxford
- Hutchings, J. 1996 The conservation of the Poole log-boat: sucrose treatment on a large scale. I *Proceedings of the 6th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials. York*. Red. P. Hoffmann, J. Spriggs, T. Grant og T. Daley. ICOM, Bremerhaven s. 281-294
- Imatzu, S. & Morgos, A. 1996 Conservation of waterlogged wood using sugar alcohol and comparison of the effectiveness of lactic acid, sucrose and PEG 4000 treatment. I *Proceedings of the 6th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials. York*. Red. P. Hoffmann, J. Spriggs, T. Grant og T. Daley. ICOM, Bremerhaven s. 335-356
- Jensen, P. 1996 Sorption of watersoluble agents in the waterlogged wooden cell wall. I *Proceedings of the 6th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials. York*. Red. P. Hoffmann, J. Spriggs, T. Grant og T. Daley. ICOM, Bremerhaven s.399-434

- Jenssen, V. & Murdock L. 1989 Review of the Conservaion of Machault Ships tips timbers. I Proceedings of the ICOM Waterlogged wood working group conference. Ottawa. Red.av D. Grattan, s.41-49
- Jensen, P. & Schnell, U. 2004 The implications of using low molecular weight PEG for impregnation of waterlogged archaeological wood prior to freeze-drying. I *Proceedings of the ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference, Copenhagen*. Red. P. Hoffmann, K. Strætkvern, J. Spriggs & D. Gregory. Bremerhaven, s.279-310
- Jones, A. & Rule, M. 1990 Preserving the wreck of the Mary Rose. I *Proceedings of the 4th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials*. Bremerhaven. Red. P. Hoffmann. Deutsches Schiffahrtsmuseum s. 317-330
- Jørgensen, G. 1989 *Træ, struktur, nedbrytning og identifikasjon*. Konservatorskolen, Det Kongelige Danske Kunstakademi.
- Kirollov A. & Miklajchuk, E. 1990 Quantitative estimation of archaeological wood degradation degree by infra-red fouriernttrasform spectroscopy. I ICOM committee for conservation. 9th triennial meeting. Dresden, 26-29 august. Preprints. Red.av K. Grimstad, ICOM, Paris s.239-241
- Kofstad, P. 1987 *Uorganisk kjemi, en innføring i grunnstoffenes kjemi*. Tano
- Laane, M. & Lie, T. 1992 *Håndbok I mikroskopi og fremstilling av preparater*. Universitetsforlaget
- Lan, Z. 1998 Conservation of an ancient boat using the PEG spray method. I proceedings of the 7th ICOM-CC working group on wet organic archaeological materials conference, Greoble/France. Red.av C. Bonnot-Diconne, X. Hiron, Q. Khoi Tran & P. Hoffmann. S. 179-181.
- Larsen, R. 1998 The science of conservation –restoration. I 25 Years school of conservation. The Jubilee Symposium, preprints 18-20 may 1998. Konservatorskolen, det kongelige danske kunstakademi. s. 77-85
- Macleod, I. & Richards, V. 1996 Wood degradation on historic shipwreck sites: The use of FTIR spectroscopy to study the loss of hemicellulose. I *Proceedings of the 6th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials*. York. Red. P. Hoffmann, J. Spriggs, T. Grant og T. Daley. ICOM, Bremerhaven s. 203-228
- Meyer, I. 1996 A logboat – from Berne to Brede. The conservation of a Swiss logboat in Denmark. I *Proceedings of the 6th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials*. York. Red. P. Hoffmann, J. Spriggs, T. Grant og T. Daley. ICOM, Bremerhaven s.269-280

- Mills, J. & White, R. 1994 *The organic chemistry of museum objects*, 2nd edition. Butterworth Heinemann.
- Morgos, A. Strigazzi, G. & Preuss, H. 1993 Microbiocides in sugar conservation of waterlogged archaeological wooden finds: the use of isothiazolones. I *Proceedings of the 5th ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference, Portland/Maine*. Red. P. Hoffmann, K. Strætkvern, J. Spriggs & D. Gregory. Bremerhaven, s. 463-484
- Panter, I 1993 The York archaeological wood Centre. I *Proceedings of the 5th ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference, Portland/Maine*. Red. P. Hoffmann, K. Strætkvern, J. Spriggs & D. Gregory. Bremerhaven, s.497-512.
- Panter, I. & Spriggs, J. 1996 Condition assessments and conservation strategies for waterlogged wood assemblages. I *Proceedings of the 6th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials. York*. Red. P. Hoffmann, J. Spriggs, T. Grant og T. Daley. ICOM, Bremerhaven s.185-202
- Pointer, S. Jones, A. & Jones, E. The wood decay potential og anaerobic marine sediments at the Mary Rose excavation site. I *Proceedings of the 6th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials. York*. Red. P. Hoffmann, J. Spriggs, T. Grant og T. Daley. ICOM, Bremerhaven s. 73-91
- Scniewind, A. 1990 Physical and mechanical properties of archaeological wood. I *Archaeological wood, properties, chemistry and preservation*. Red R.Rowell og R. Barbour. Advances in Chemistry Series 225, American Chemical Society, Washington, s.87-110
- Roth, I. & Malmberg, L. 2004 Save the Wasa – an introduction. I *Proceedings of the ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference, Copenhagen*. Red. P. Hoffmann, K. Strætkvern, J. Spriggs & D. Gregory. Bremerhaven, s 171-180
- Siau, J. 1971 *Flow in wood*. Syracuse university press.
- Strætkvern. K. 2001 Freezing of polyethylenglycol – compression strengths and freezing curves for high-molecular weight PEGs with and without low-molecular weight PEGs added. I *Proceedings of the 8th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials. Stockholm* Red. P. Hoffmann, J. Spriggs, T. Grant, C. Cook og A. Recth. ICOM, Bremerhaven, s. 335-352
- Sæterhaug, R. & Turner-Walker, G. 2001 Conservation of roman structural timbers using the two-step method. I *Proceedings of the 8th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials. Stockholm* Red. P. Hoffmann, J. Spriggs, T. Grant, C. Cook og A. Recth. ICOM, Bremerhaven, s.91-102

- Timar-Balazsy, A. & Eastop, D. 1998 *Chemical principles of textile conservation*.
Butterworth Heinemann
- Young, G. & Sims, R. 1989 Microscopical determination of polyethylene glycol in treated wood – the effect of distribution on dimensional stabilization. I *Conservation of wet wood and metal*. Red I. D. MacLeod. Western Australian Museum. s. 109-140
- Young, G. & Wainwright, I. 1980 A Study of waterlogged wood conservation treatments at the cellular level of organisation. I Proceedings of the ICOM Waterlogged wood working group conference. Ottawa. Red.av D. Grattan, s. 107-116
- Van der Meulen, D. 1999 *Den anatomiske oppbygningen av trevirket*. Avd. For konserveringsstudier, UIO
- Watson, J. 1996a Conservation of the Bronze-age boat from Dover: an interim report. I *Proceedings of the 6th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials*. York. Red. P. Hoffmann, J. Spriggs, T. Grant og T. Daley. ICOM, Bremerhaven s.555-568
- Watson, J. 1996b Freeze drying highly degraded waterlogged wood. I *Proceedings of the 6th ICOM group on wet Organic Archaeological Materials*. York. Red. P. Hoffmann, J. Spriggs, T. Grant og T. Daley. ICOM, Bremerhaven s.9-24
- Zabel, R & Morrell, J. 1992 *Wood Microbiology, decay and its prevention*. Academic Press, INC.

URL

<http://www.trefokus.no/default.aspx> 19.05.2006

Vedlegg A: Tre: Struktur, sammensetning og nedbrytning

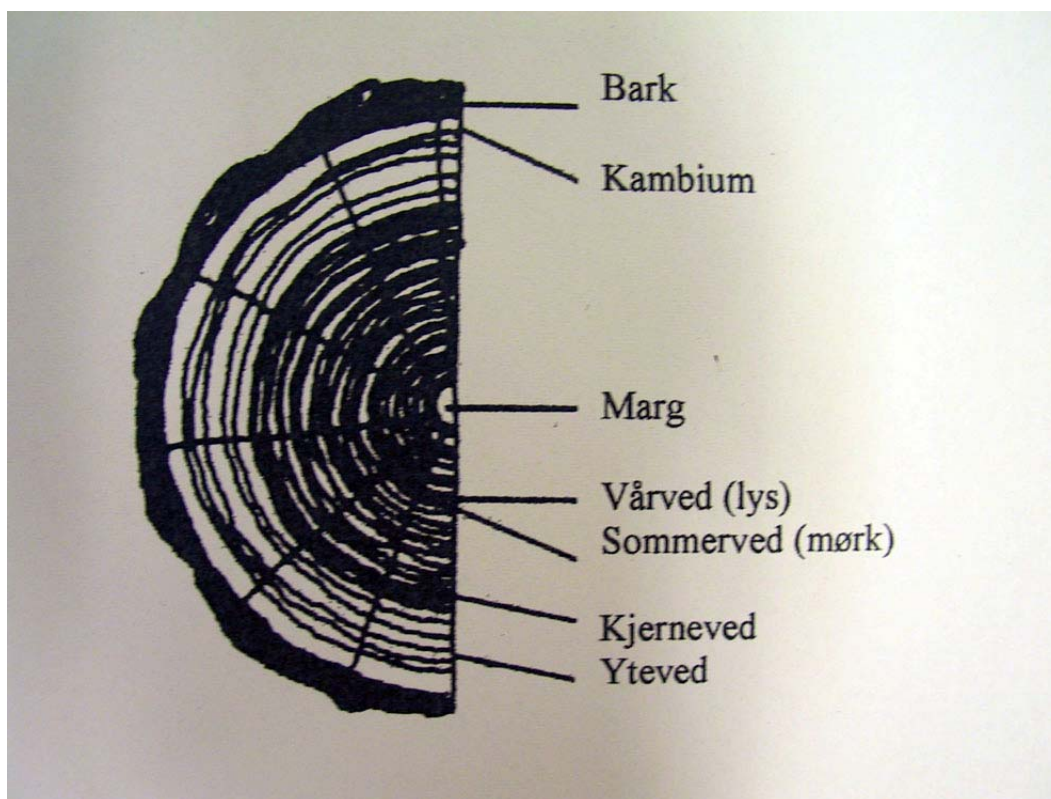


Fig. 1: Treets makroskopiske struktur

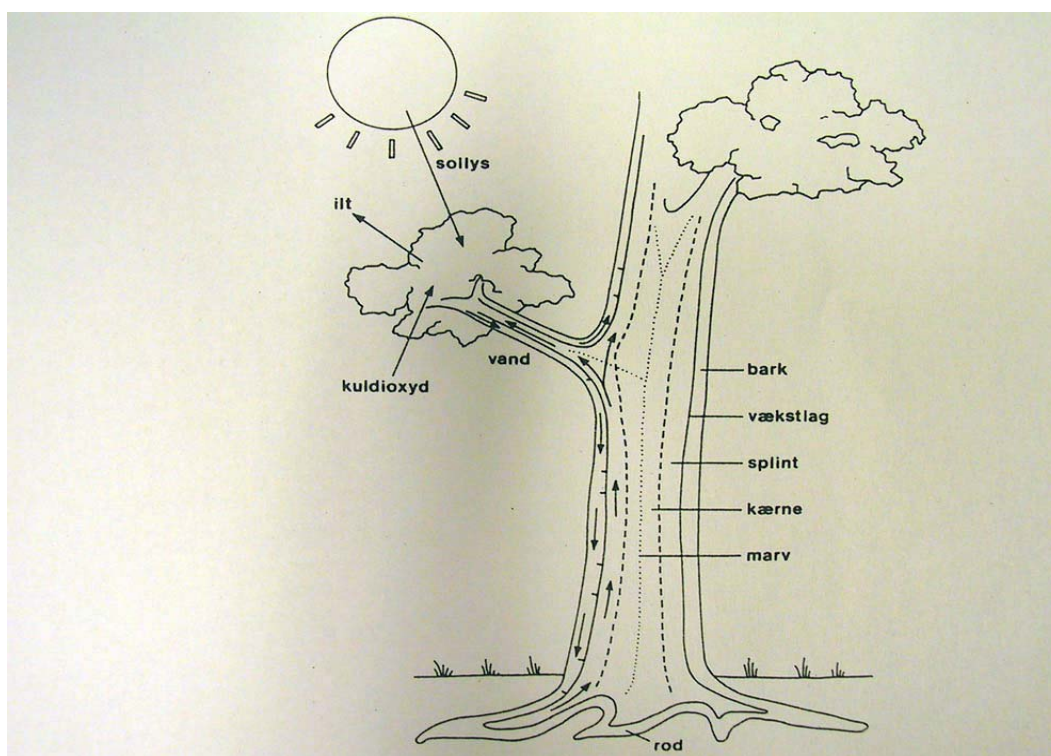


Fig. 2: Treets makroskopiske struktur

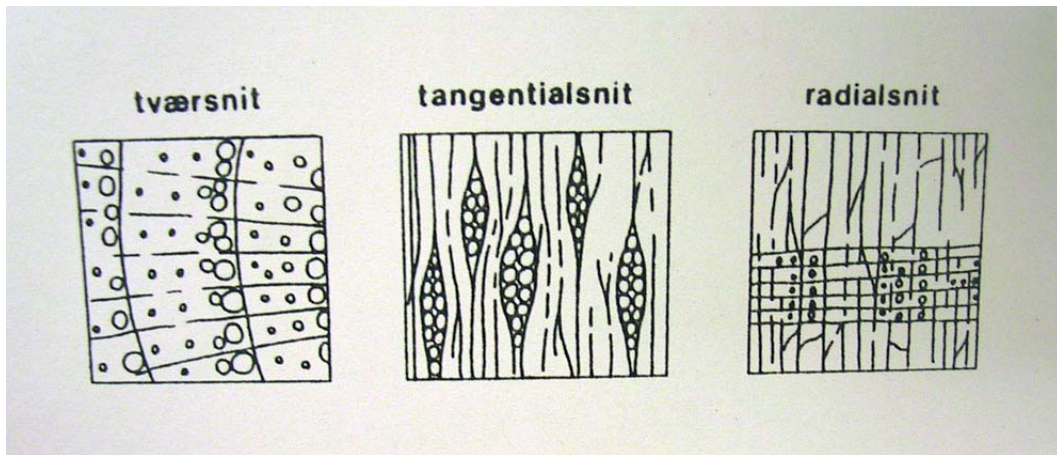


Fig. 3: De tre snitt

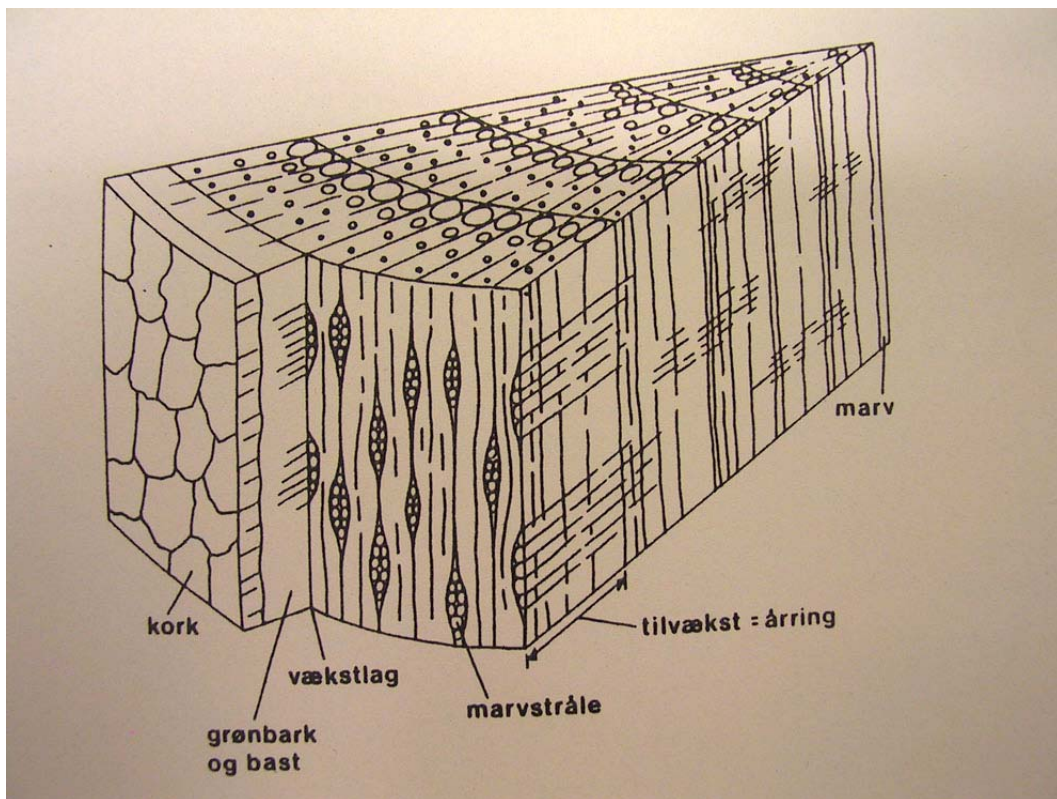


Fig. 4: De tre snitt

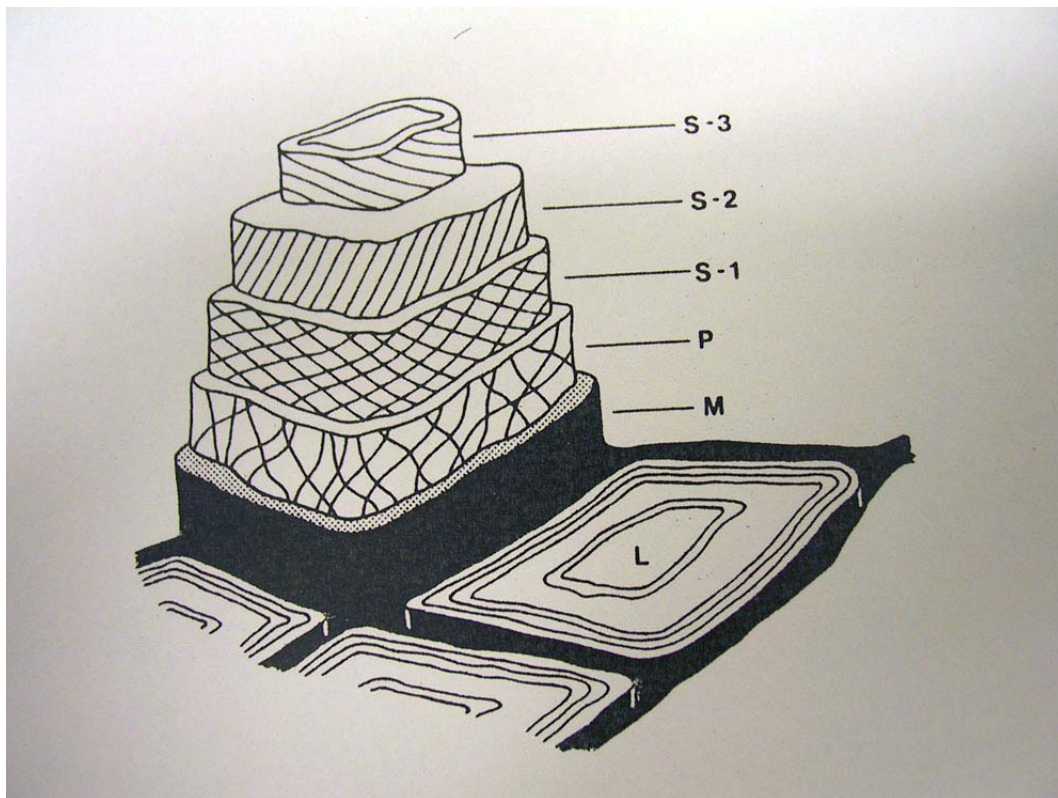


Fig. 5: M – midtlamell, P – primærvegg, S1, S2 og S3 - sekundærvegg

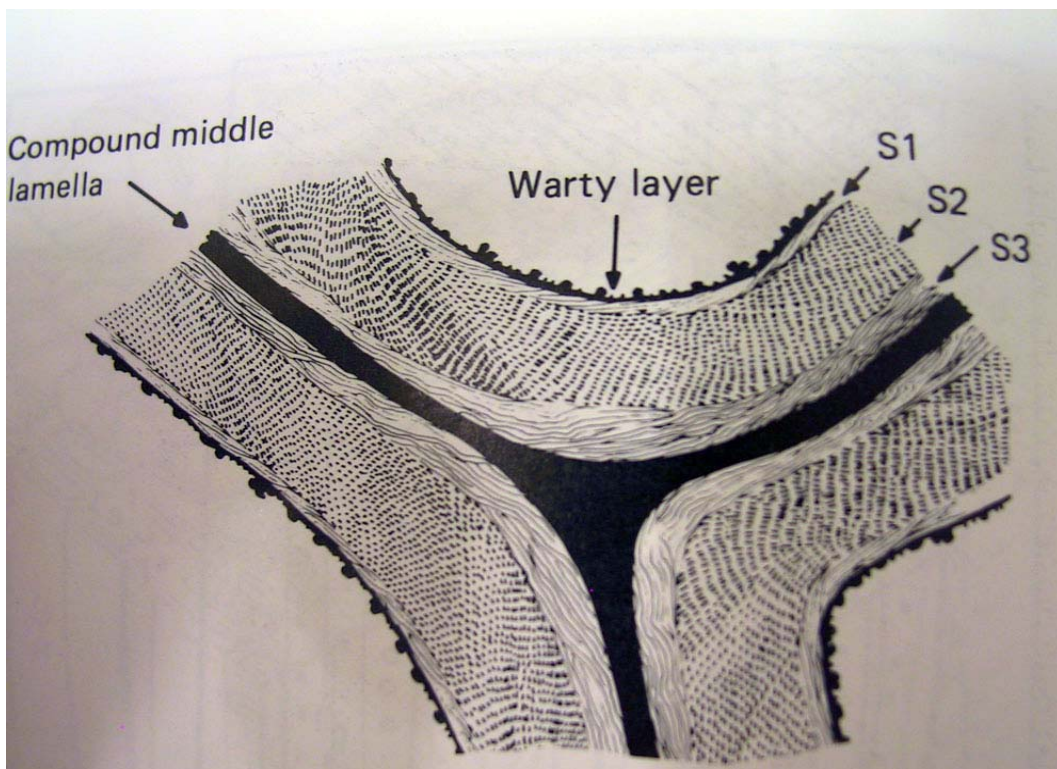


Fig. 6: Cellestrukturen sett ovenifra

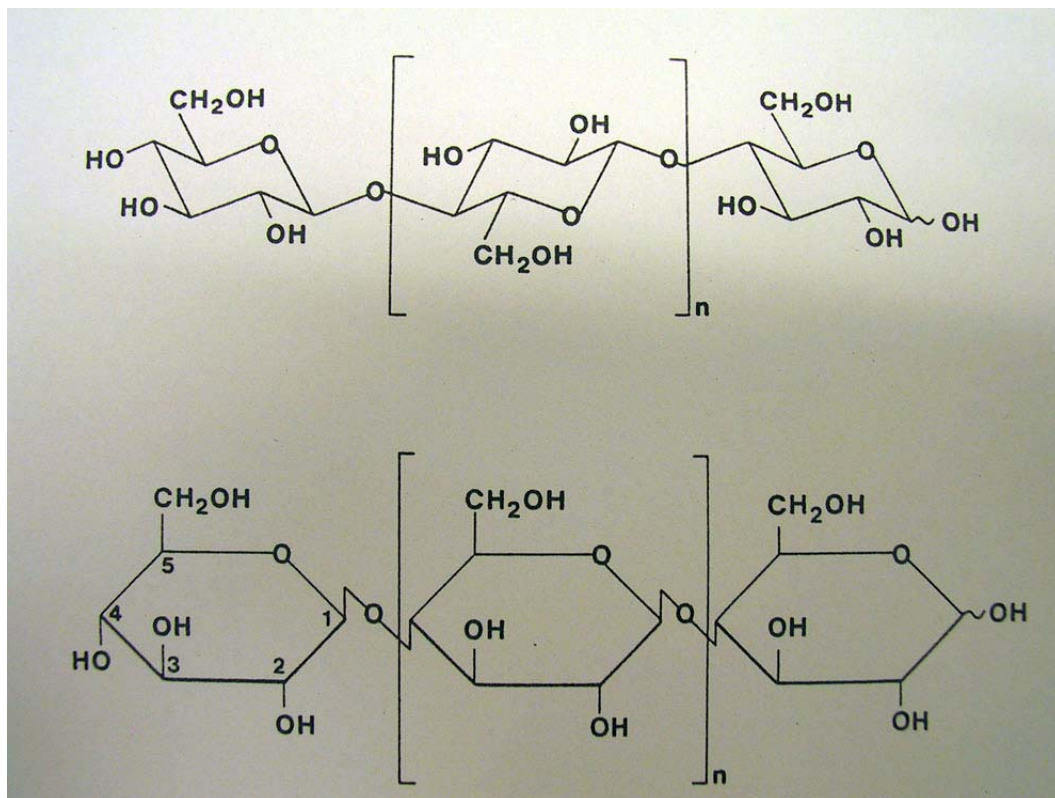


Fig. 7: Cellulose, formel og struktur (Jørgensen 1989).

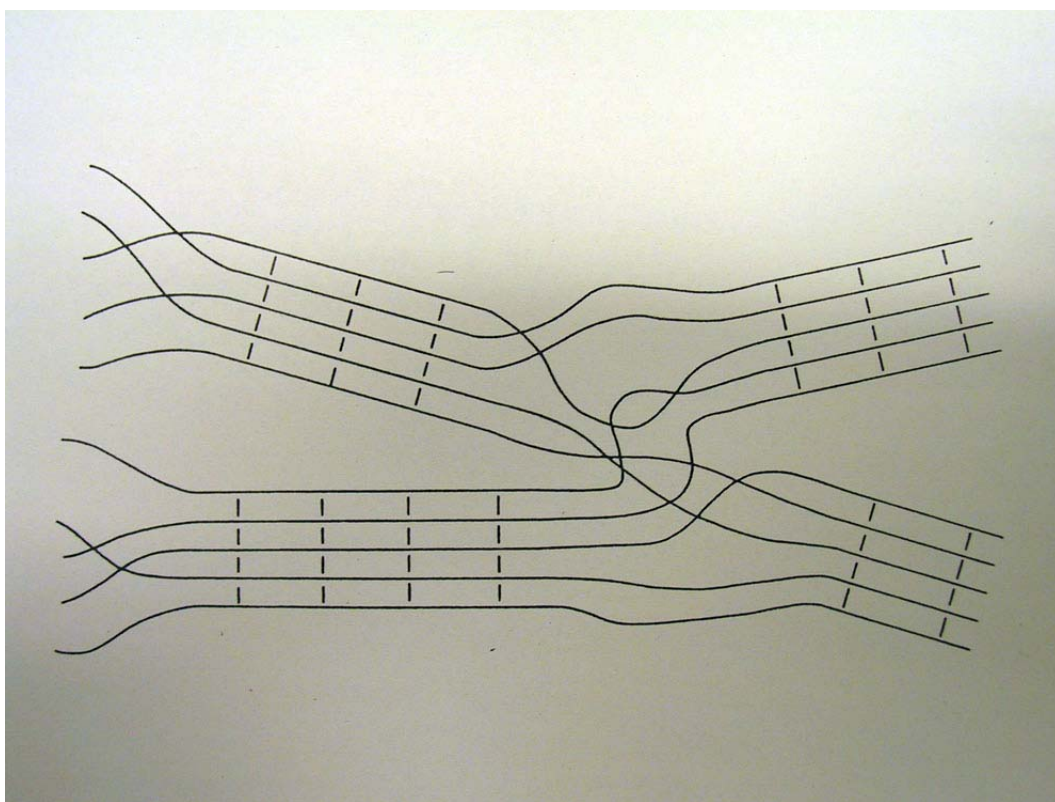


Fig.8: Cellulose, amorfte og krystallinske områder (Jørgensen 1989).

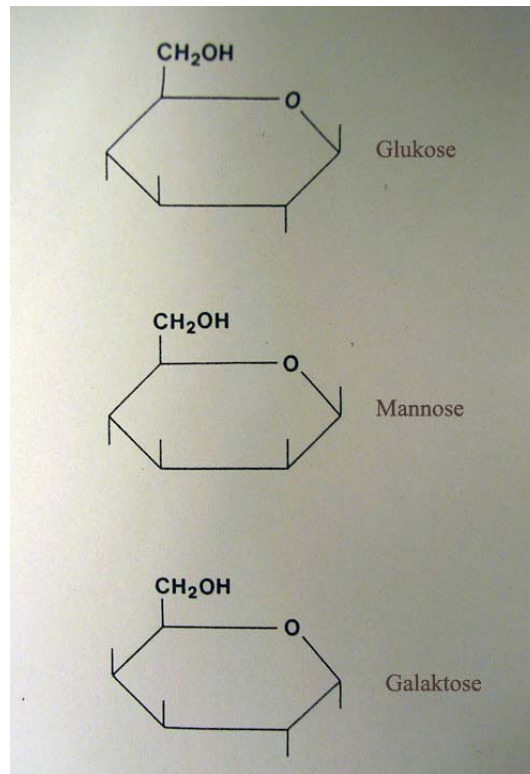


Fig. 9: Bestanddelene i hemicellulose (Jørgensen 1989).

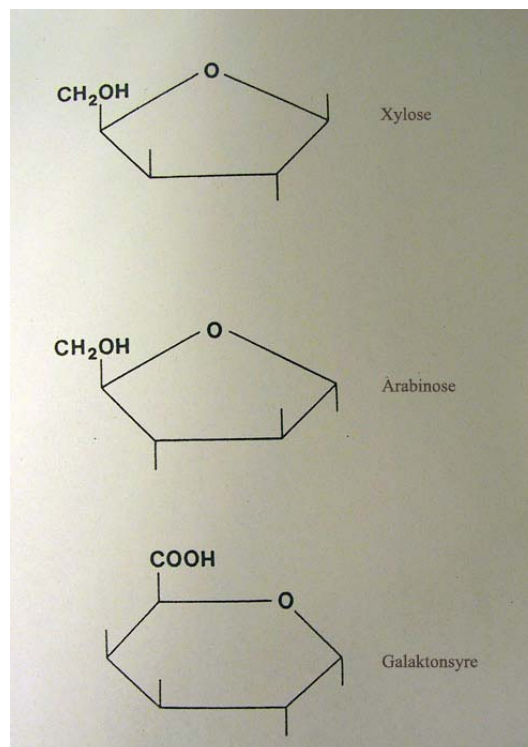


Fig. 10: Bestanddelene i hemicellulose (Jørgensen 1989).

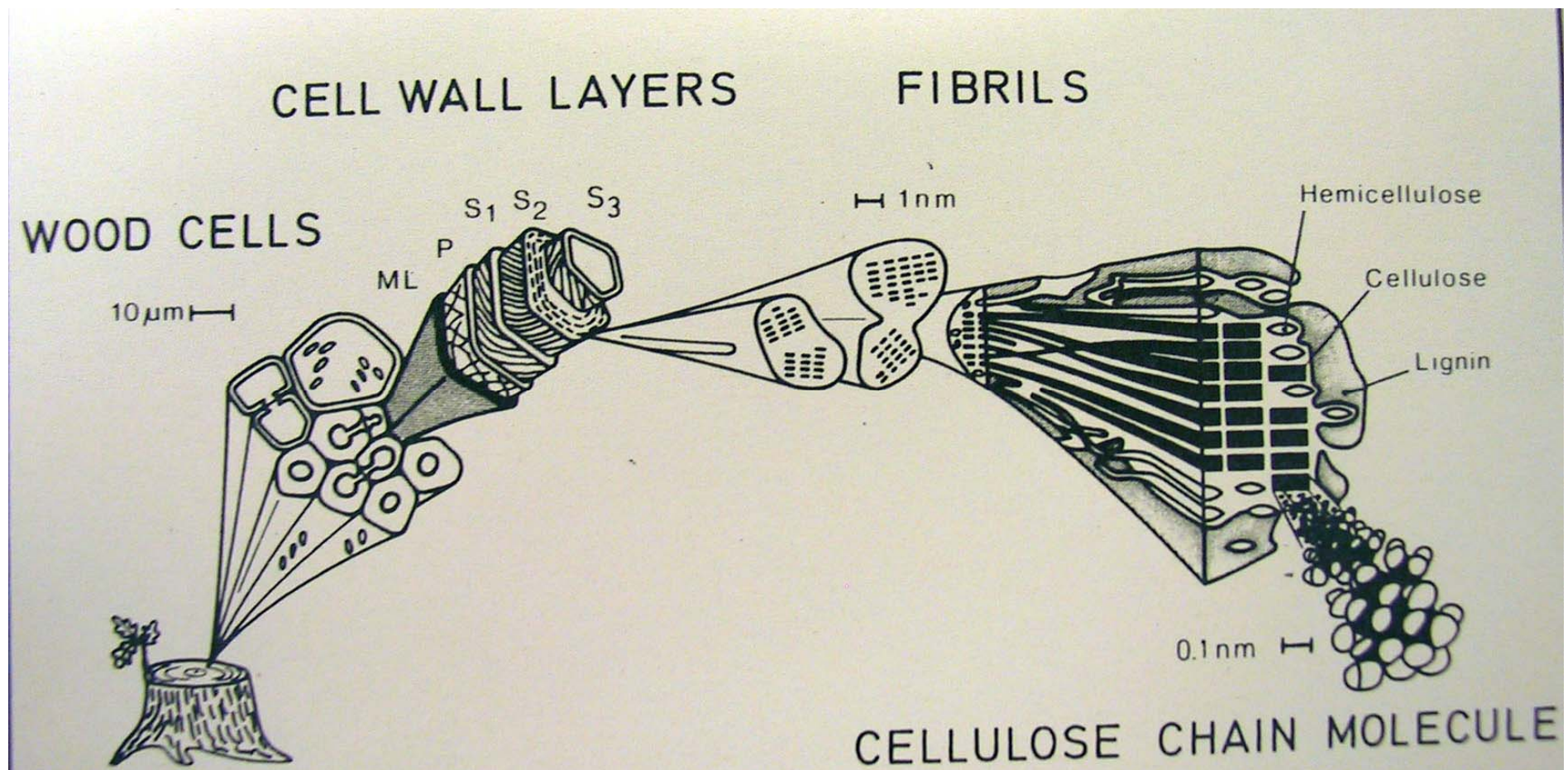


Fig.11: Fra stamme til kjemisk sammensetning.

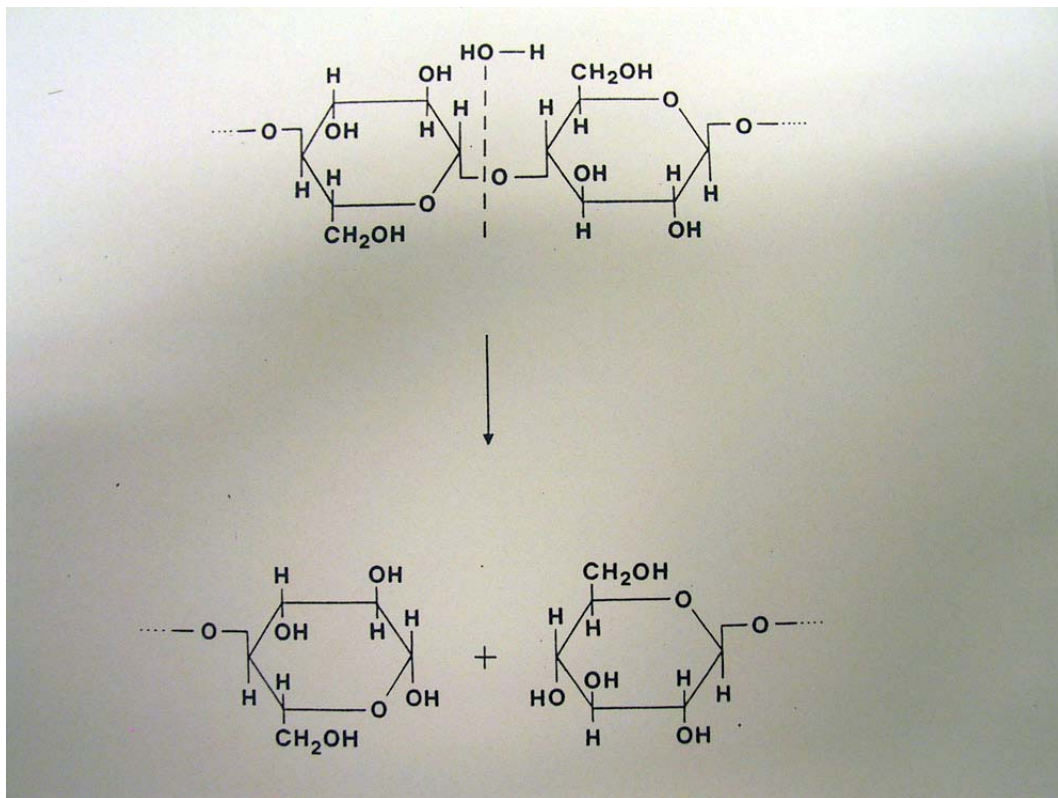


Fig. 12: Hydrolytisk nedbrytning av cellulose (Jørgensen 1989).

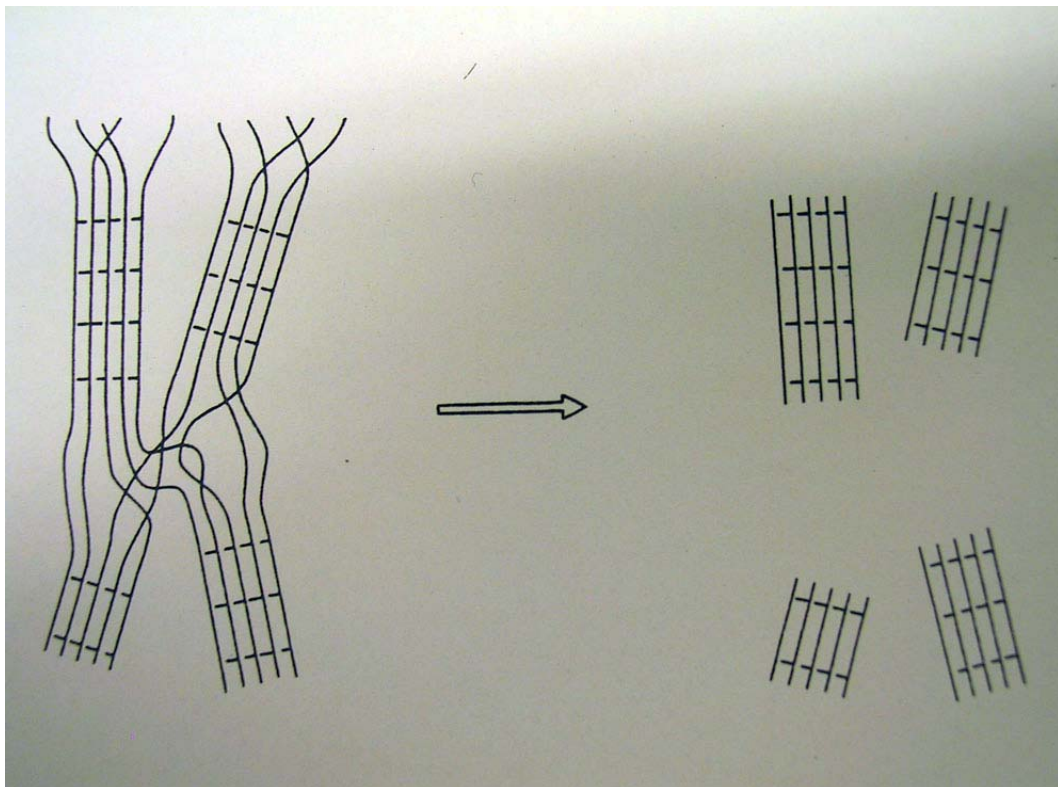


Fig. 13: Hydrolytisk nedbrytning av cellulose (Jørgensen 1989).

Vedlegg B: PEG: struktur og nedbrytning

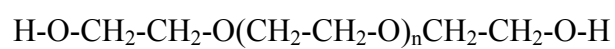


Fig 1. PEGs struktur (Glastrup 1996)

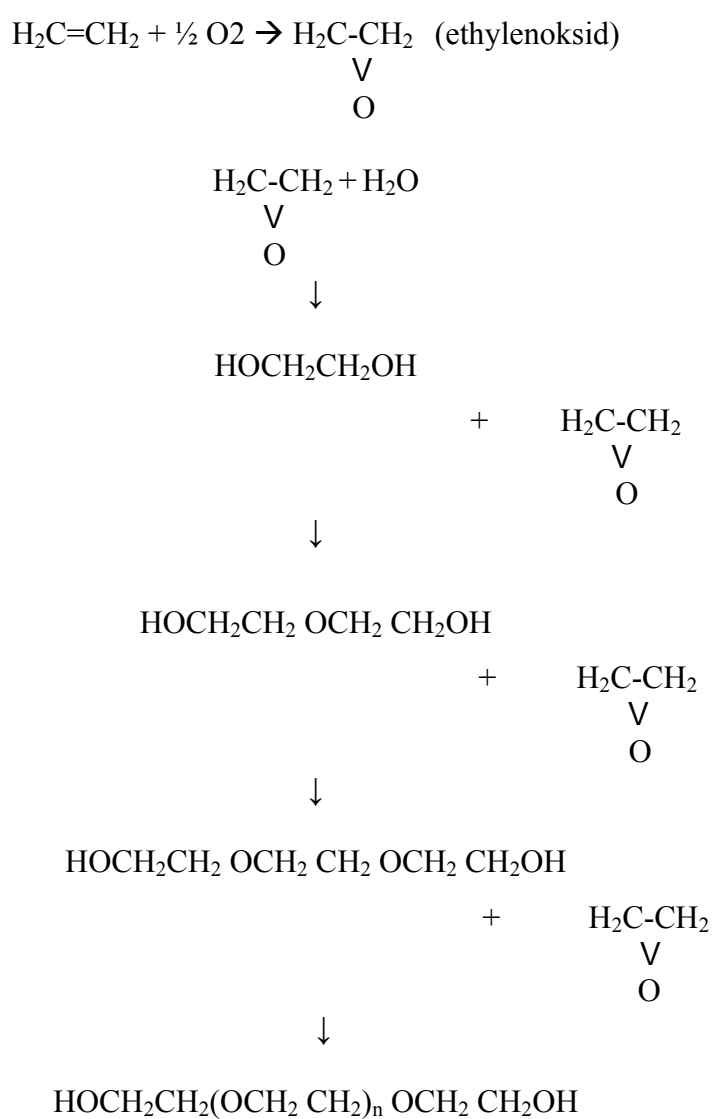


Fig. 2: Polymeriseringsprosessen til PEG (Geymayer m.fl 1990).

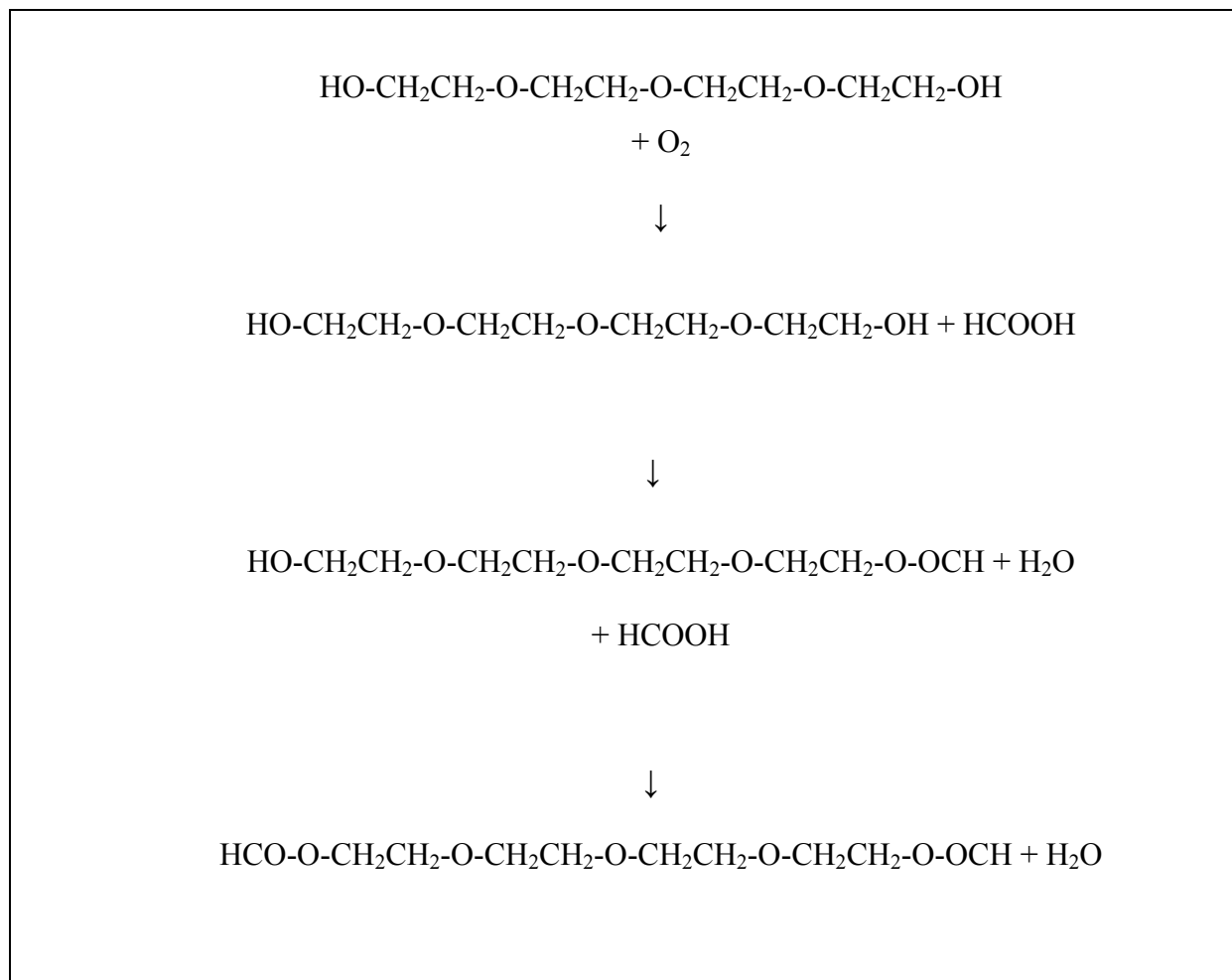


Fig. 3: Nedbrytning av PEG (Glastrup 1996)

Vedlegg C: Frysetørring

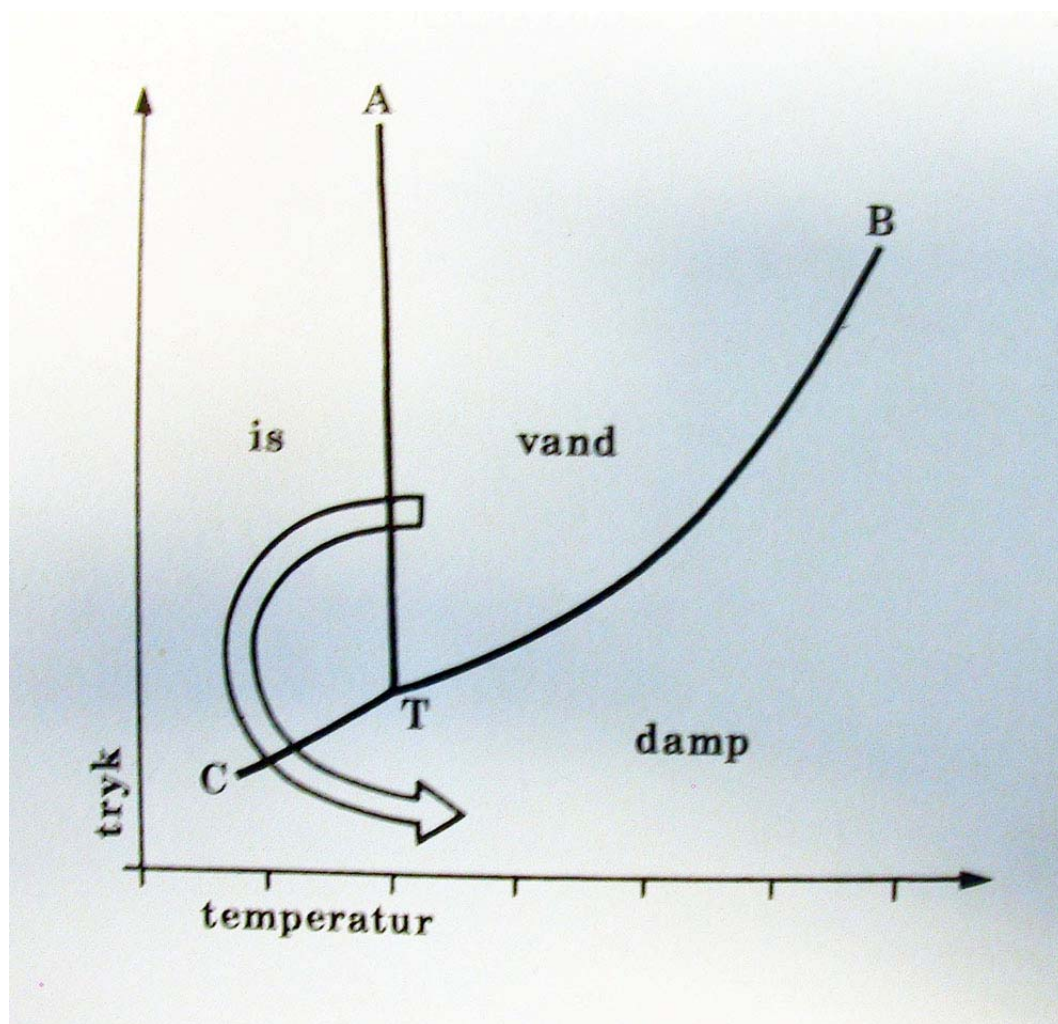


Fig. 1: Tilstandsdiagram for vann.

Vedlegg D: Oversikt over gjenstandene

Følgende gjenstander ble stilt til disposisjon for oppgaven:

Funn med kun B nr:

B 14, B 16, B 25-084866, B 27, B 28, B 30, B 32, B 33, B 36, B 37, B 38, B 39, B 48, B 50, B 61

Funn med kun GB nr:

GB 533

Funn med D nr:

D-152-K2551

Funn med annen eller mer informasjon:

B 8	B 15	B 47 – GB 527	B 57	B 58
Lag: 8591	Plan: 3/1	Lag: 8591	Lag: 8621	Lag: 8621
Rute: AB 3	Niv. Nr: 84	K 32	Plan: 4	Rute: AD 32, 27
Plan: 3/1		Prim. Rel: 2533		Plan: 4
Niv. nr: 4				Niv. Nr: 68

B 59	B 66	GB 526	4xSørenga	Sørenga
Lag: 8606	Lag: K 2556	Lag: 8506	Lag: 2566	Lag: 2565
Rute: AC 31	Rute: AD 31	Rute: AE 32	Rute: AD 32	Rute: AD 32
Plan: 0		Plan: 1	Plan: 1	Plan: 1?
		Prim. rel: K2533		

Sørenga	Lag: 8593
Lag: 2515	Rute: AC 31, 53
Rute: AC 32	Plan: 1

I tillegg var det ett funn som ikke hadde noe nummer eller annen form for informasjon.

Vedlegg E: Fotografi av funnene/gjenstandene



Fig. 1: Fragment 1



Fig. 2: Fragment 1.



Fig. 3: Fragment 2.



Fig. 4: Fragment 2.



Fig. 5: Fragment 3.



Fig. 6: Fragment 3.



Fig. 7: Fragment 4.



Fig. 8: Fragment 4.

Vedlegg F: Metode

Fragment

--

Hvert funn som ble benyttet ble kalt fragment. Totalt fire trefunn ble plukket ut, og disse fikk hvert sitt nummer; 1-4.

Del

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

A B C D E F G H I J

De fire fragmentene ble delt opp i ti deler med omtrentlig samme størrelse, hver del fikk hver sin bokstav. Slik var det mulig å referere både til fragment og del, f. ekmens 2B betyr del B fra fragment 2.

De ulike delene ble benyttet til ulike formål, med de fleste ble behandlet/ konservert med varierende metoder.

Delene ble så analysert. Hver del ble kuttet opp i mindre biter, kun en bit ble produsert fra hver del. Det ble produsert snitt fra bitene som ble undersøkt med fluorescerende mikroskopi og FT-IR mikroskopi.

Bit:

Den øverste delen (ca.10 mm) av biten ble fjernet før snittene ble tatt. Slik unngikk man å ta analyser kun fra delens overflate og slik få et helhetlig bilde av impregneringssituasjonen.

Vedlegg G: Diffusjon

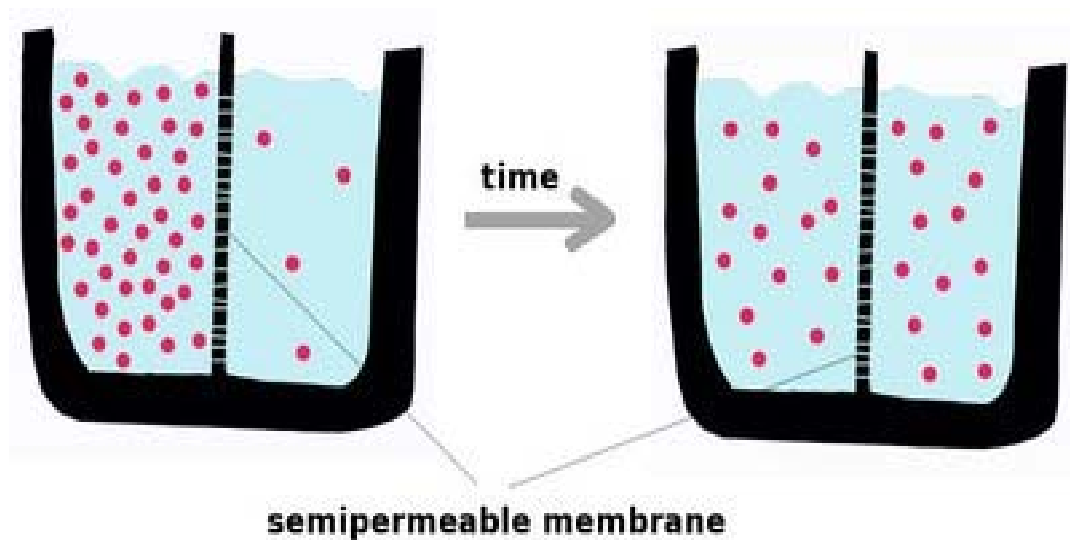


Fig. 1: Illustrasjon av diffusjon gjennom en semipermeabel membran. Tegningen illustrer også diffusjonen gjennom tre og viser bakgrunnen for konstruksjonen av diffusjonsenhetene.



Fig. 2: Bilde av en av de tre diffusjonsenhetene benyttet til den andre diffusjonsundersøkelsen. Bildet viser de to avkuttete brusflaskene som er gjort tette med sanitærsilikon og polyetylenplater. Mellom brusflaskene er gummislangen med trebiten i midten. Denne er hold fast med en sirkulær metalltvinge.

Vedlegg H: Bruk av håndholdt refraktometer

Ett instrument ble benyttet til å måle brytningsindeksen i de to diffusjonsavdelingene PEG/H₂O. Instrumentet var av typen ATAGO 5000 som måler brytningsindekse fra 1,333 til 1,520 n_D .

Instrumentet besto av en prisme boks i den ene enden og en mekanisme man kunne se gjennom i den motsatte enden. Prismeboksen besto av et prisme med et lokk over. En dråpe av væsken som skulle undersøkes ble dryppet på den rengjorte overflaten på prismet. Lokket over prismet ble lukket og refraktometeret ble holdt mot en passende lyskilde. Ved å se gjennom synsmekanismen ble det observert et sirkulært felt med en skala i. Skalaen tilsvarte ulike verdier av brytningsindeksen og det grenseområdet i feltet som var delt inn i en mørk og en lys avdeling markerte brytningsindeksen til væsken. Ved å fokusere fikk man en tydelig og skarp overgangslinje mellom de to avdelingene. Der på skalaen hvor overgangslinjen befant seg korresponderte til brytningsverdien til væsken som ble undersøkt.

Vedlegg I: Hanskeboks



Fig. 1: Hanskeboksen sett fra forsiden.



Fig. 2: Hanskeboksens innside.

Vedlegg J: FT-IR spektrum, PEG 400 og PEG 4000

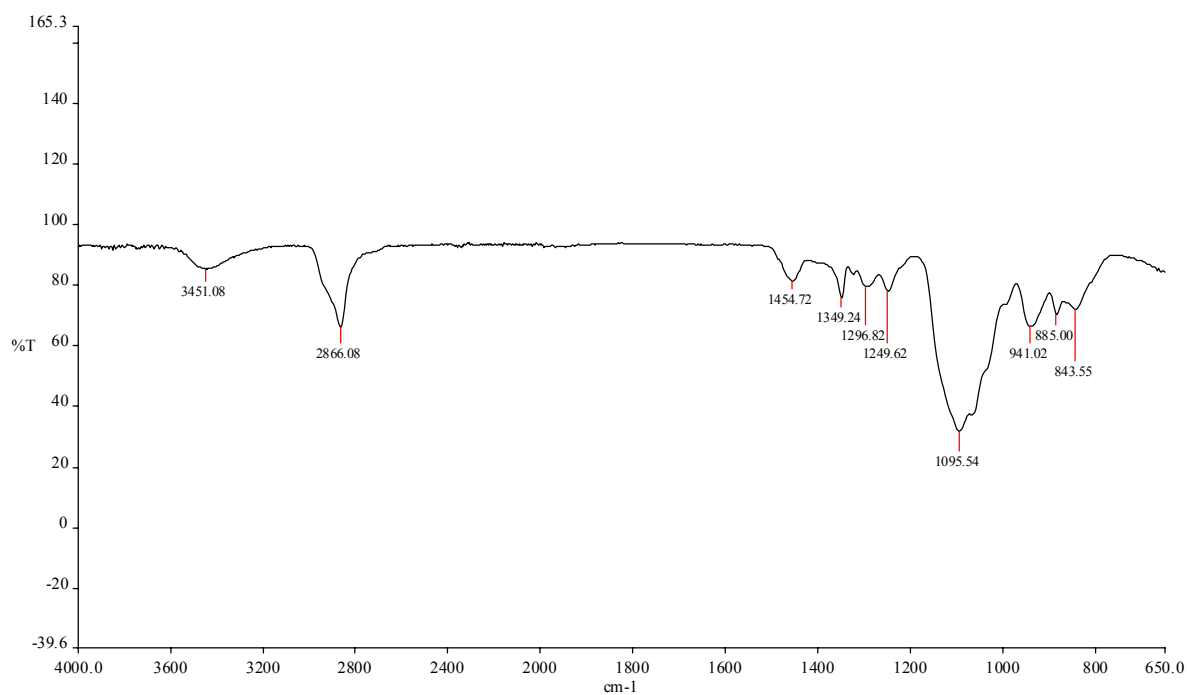


Fig. 1: FT-IR spektrum, PEG 400

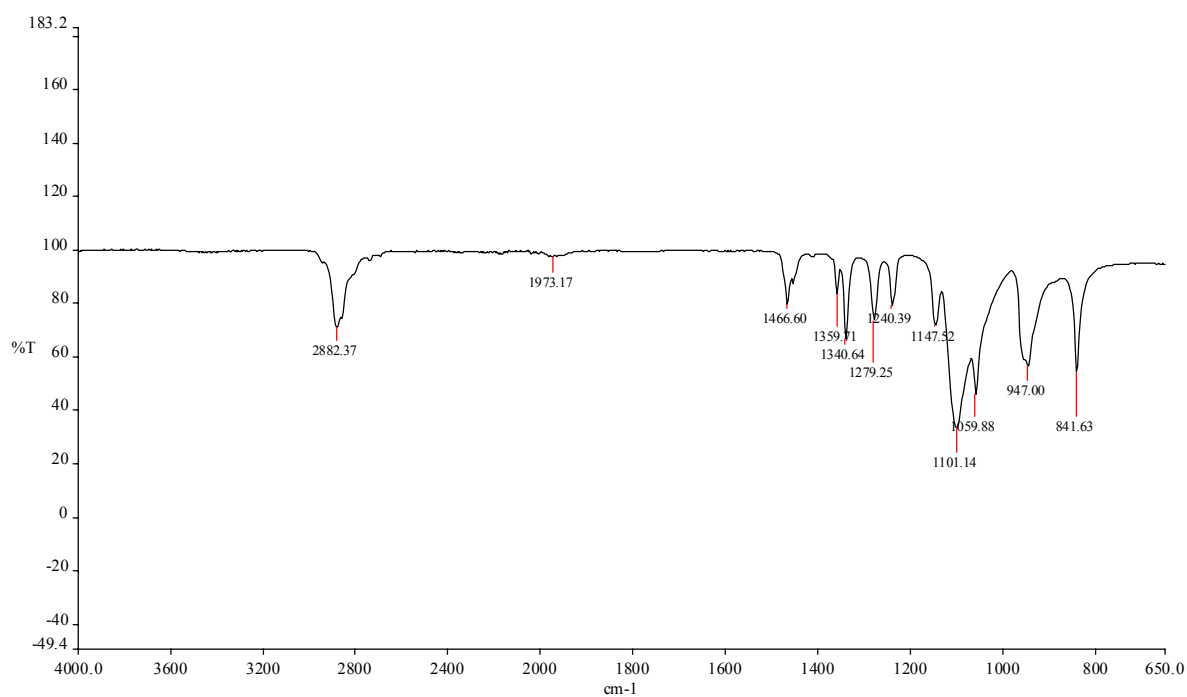


Fig. 2: FT-IR spektrum, PEG 4000

Vedlegg K: Bruk av FT-IR mikroskop

Treprøvene ble snittet ved hjelp av en mikrotom, disse ble så lagt på en diamantamboltcelle og prøvens transmisjonsspektrum ble samlet inn.

Ved å benytte en diamantamboltcellen er det enkelt å flate ut prøven og metoden egner seg derfor svært godt for litt tykke prøver. Å ta helt jevne snitt er vanskelig, det var diamantamboltcellen var derfor en egnet prepareringsteknikk for tre.

For hver prøve ble bakgrunnspektrumet først samlet inn, dette ble gjort ved å skanne rett på diamantcellen. Deretter ble det skannet fra et ønskelig sted på prøven, i dette tilfellet inne i trecellenes cellevegg. Prøveområdet ble snevret inn ved hjelp av et knivkant apparat, en mekanisme som benyttes manuelt til å redusere og snevre inn det området man ønsker at prøven skal tas fra. Dette ble gjort mens man kunne se prøven i mikroskopet, mikroskopet var innstilt på *view*. Prøven kunne slik sees på en PC ved å benytte en videofunksjon.

For å samle inn spektrumet ble mikroskopet innstilt på transmisjon og prøvens spektrum ble samlet inn. Hver prøve ble skannet 32 ganger. Bakgrunnspektrumet ble til slutt trukket fra det innsamlede spektrumet fra treprøvene.

Vedlegg L: SEM/SEM-EDX

I elektronmikroskopet bestråles prøven med en elektronstråle, slik kan man se mye mindre gjenstander enn i et vanlig optisk mikroskop. Dette skyldes at bølgelengden til elektronstrålen er mye mindre enn lysets bølgelengder.

I det den primære elektronstrålen møter prøveroverflaten dannes det flere typer signaler, ett av disse er energi dispersive røntgenstråler, EDX. Primærstrålens elektroner støter ut elektroner fra atomenes indre skall. Det blir slik en ledig plass og denne erstattes ved at elektroner faller inn fra ytre skall. I denne prosessen oppstår det røntgenstråler. Elektronforflytningene som finner sted er karakteristiske for hvert enkelt grunnstoff og dermed også for bølgelengden til røntgenstrålene som oppstår. En detektor som analyserer disse røntgenstrålene kan derfor gi forslat til hvilke grunnstoffer som finnes på prøvens overflate. Detektoren kan også gi informasjon om den prosentvise fordelingen av grunnstoffene. Den primære elektronstrålen kan også skanne overflaten for utvalgte grunnstoffer samt gi et oversiktsbilde over hvor grunnstoffene befinner seg (Timar-Balazsy & Eastop:390,397).

Andre detektorer i SEM mikroskopet kan fange opp tilbakespredte elektroner, BSI, og sekundære elektroner, SEI. BSI gir et gråskalabilde som viser grunnstoff-fordelingen i prøven, mens SEI gir et topografisk bilde.

Kun grunnstoffer med større atomvekt enn karbon kan analyseres.

Vedlegg M: Identifikasjon av tre

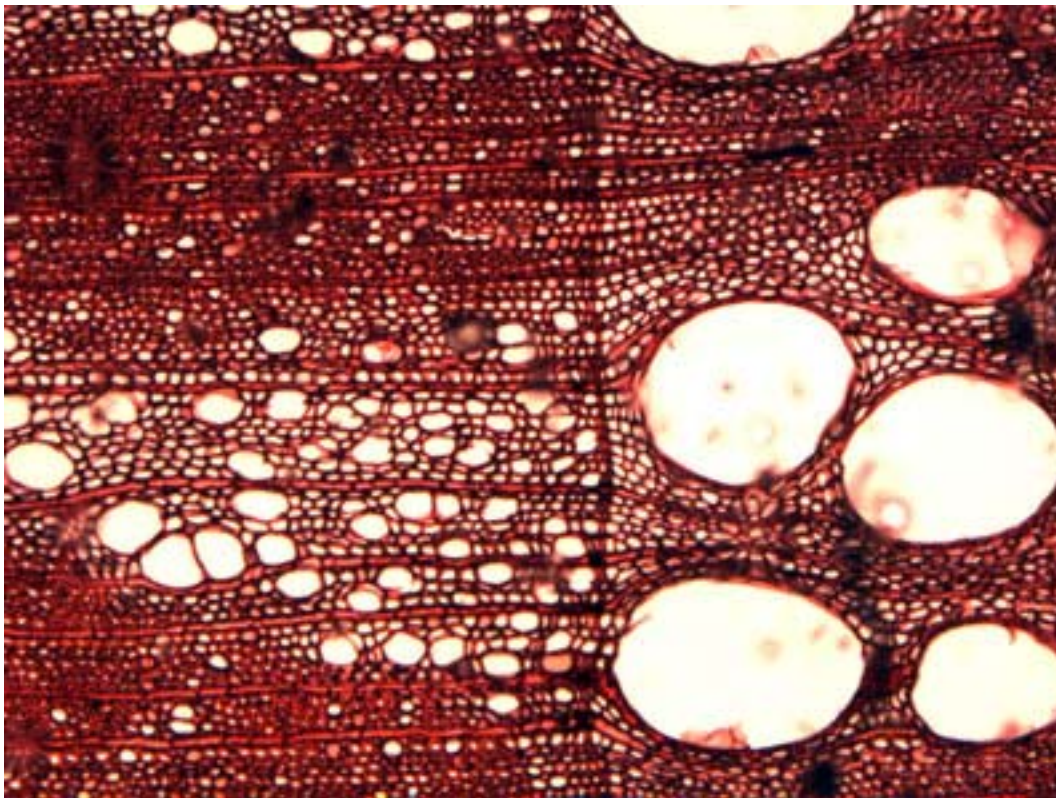


Fig. 1: Tverrsnitt av eik, nytt tre. X50

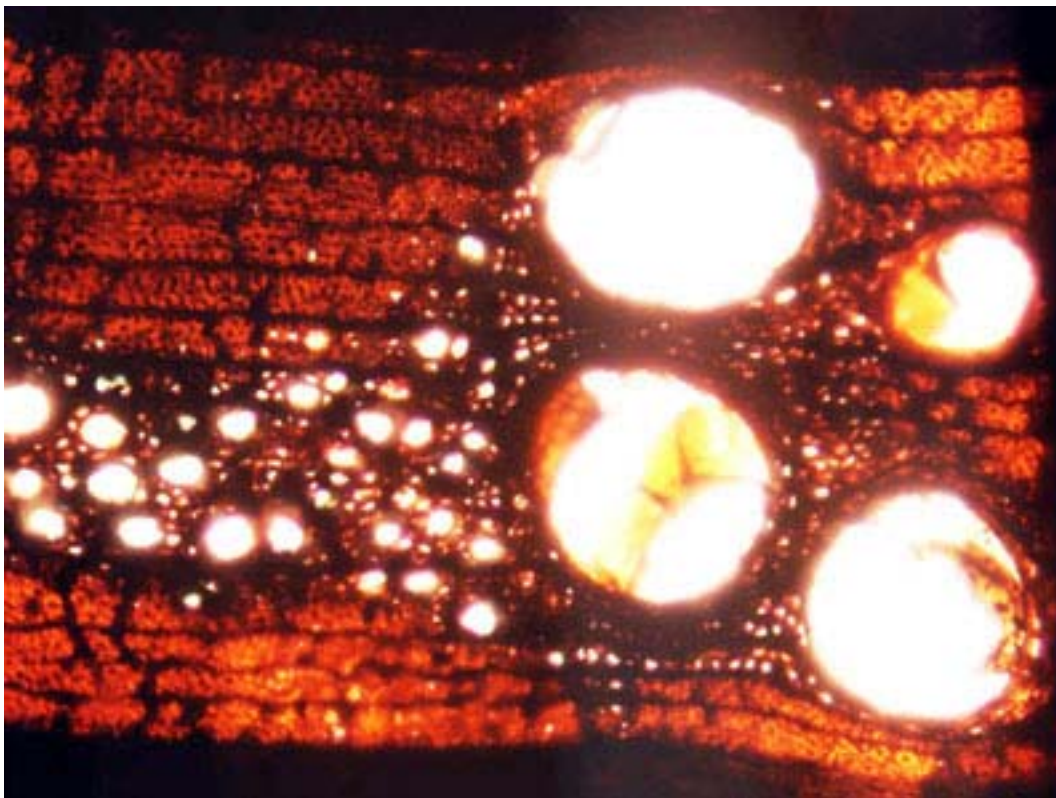


Fig. 2: Tverrsnitt av eik, arkeologisk tre. X50



Fig. 3: Radialsnitt av eik, nytt tre. X50



Fig. 4: Radialsnitt av eik, arkeologisk tre. X50



Fig. 5: Tangentialsnitt av eik, nytt tre. X50

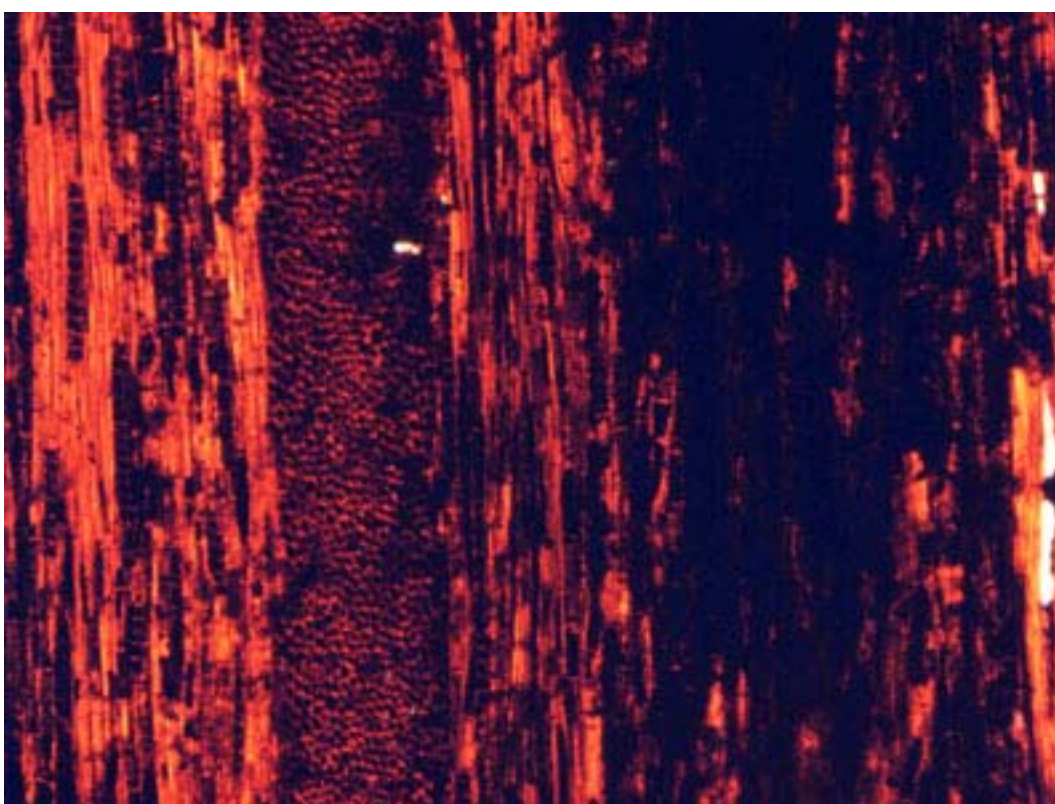


Fig. 6: Tangentialsnitt av eik, arkeologisk tre. X50

Vedlegg N: Diffusjonsgrafer, diffusjonsundersøkelse II

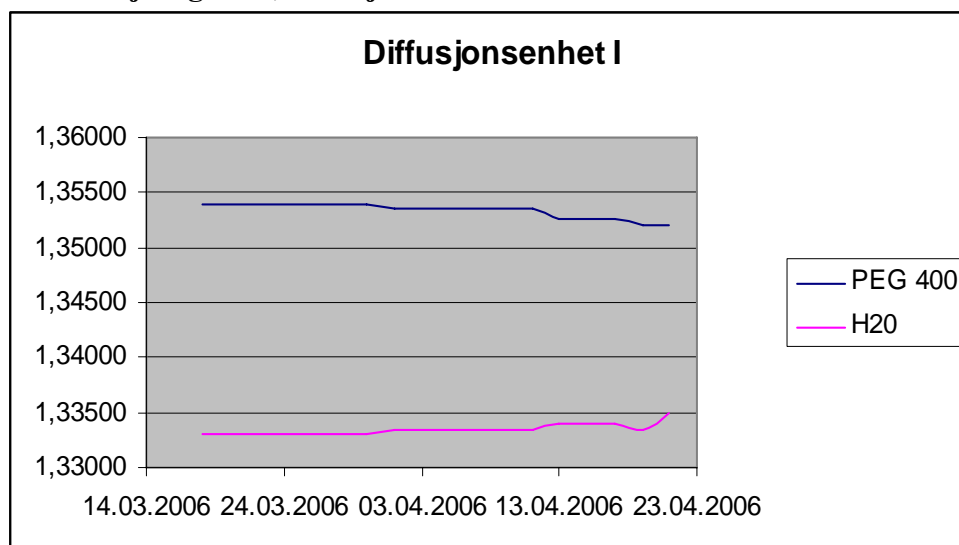


Fig. 1: Diffusjonsenhet I

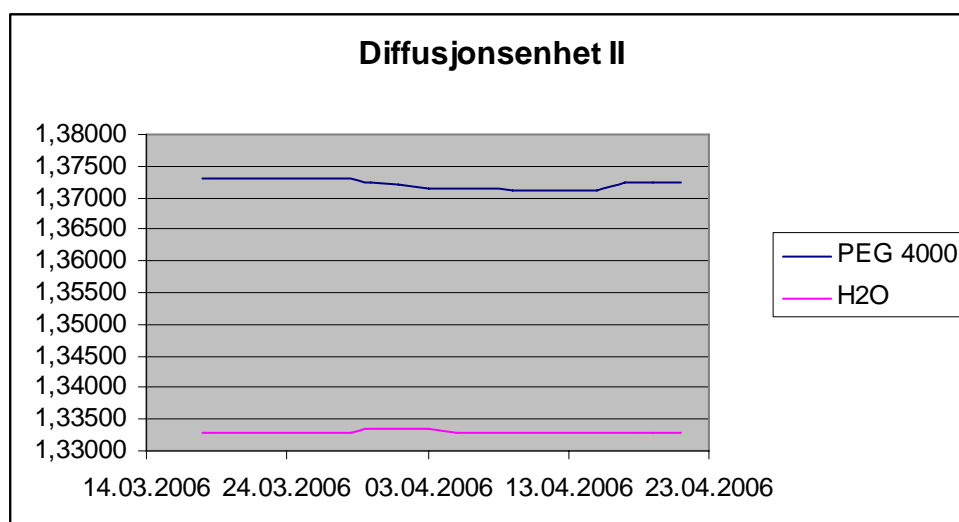


Fig. 2: Diffusjonsenhet II

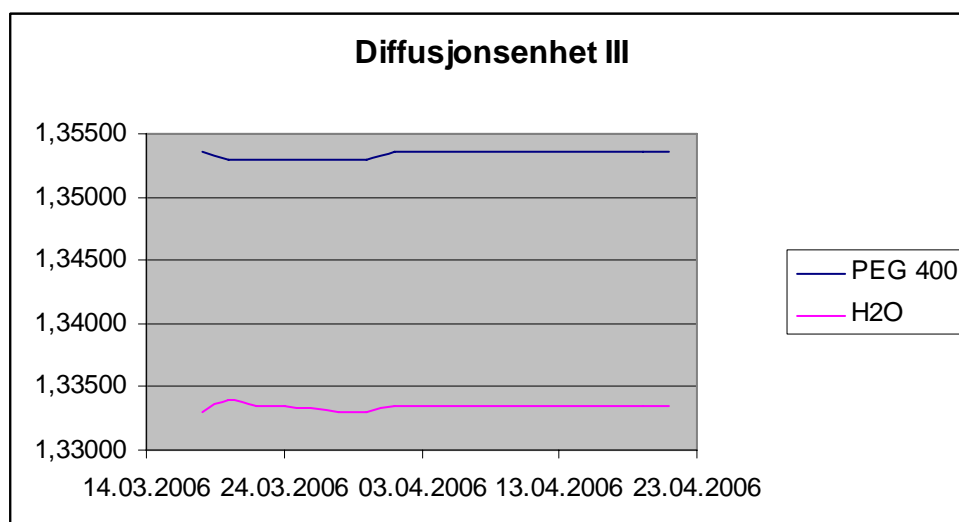


Fig. 3: Diffusjonsenhet III

Vedlegg O: Fluorescerende mikroskopi

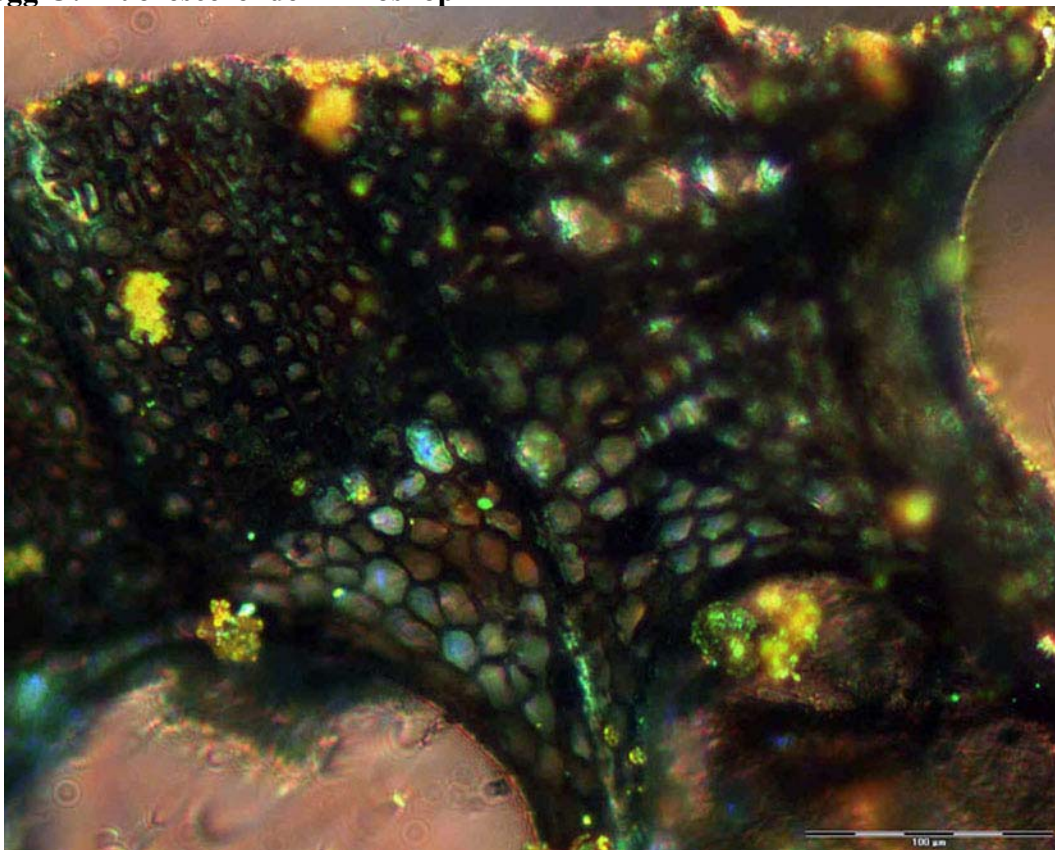


Fig. 1: 1A, fluorescerende mikroskopi.

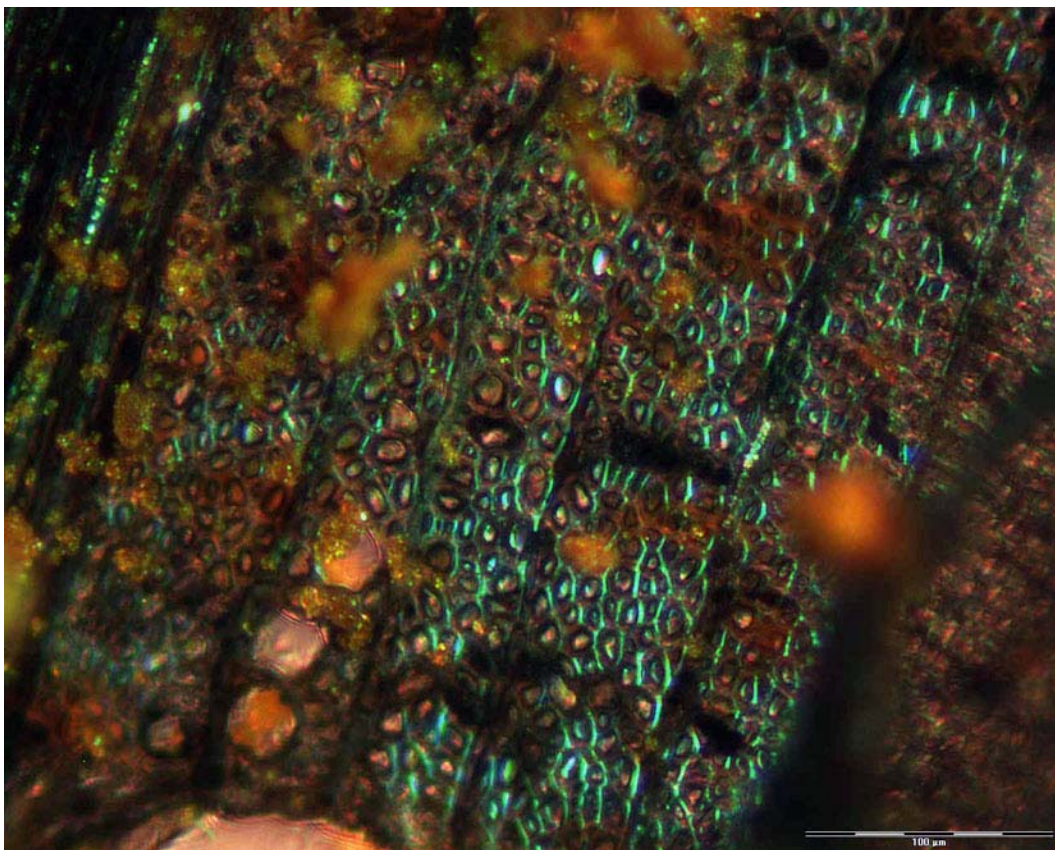


Fig. 2: 1B, fluorescerende mikroskopi.

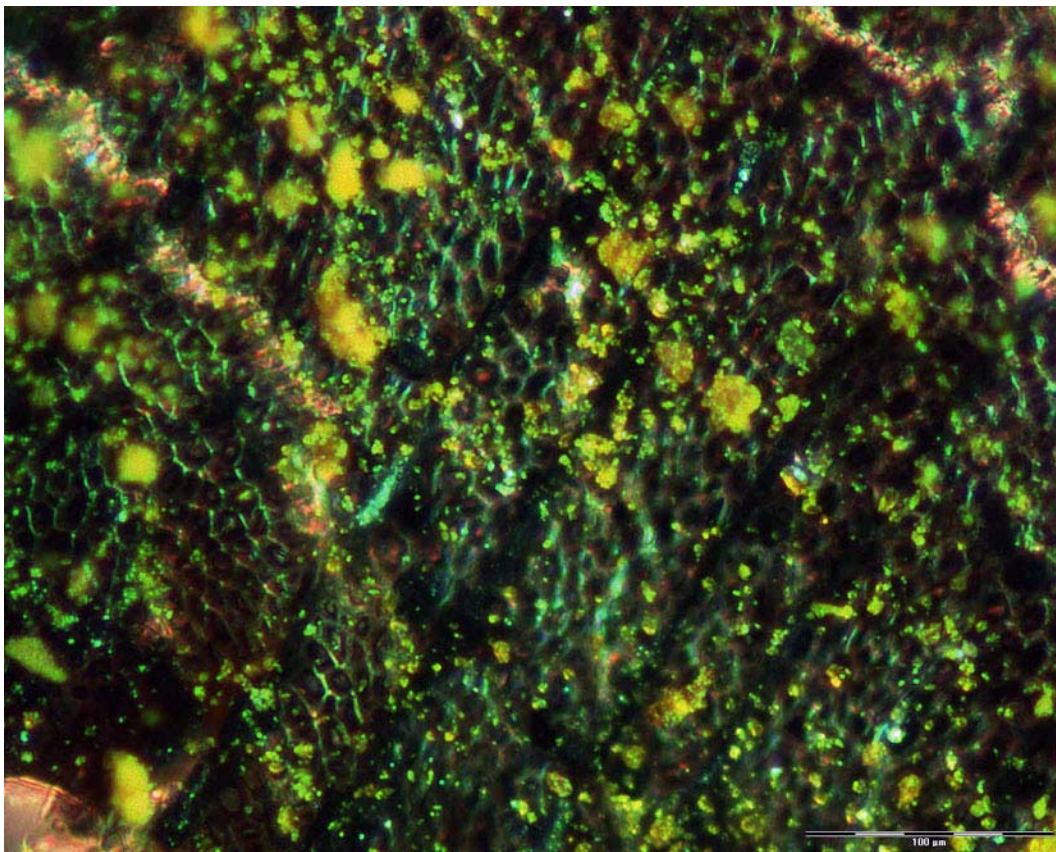


Fig. 3: 1C, fluorescerende mikroskopi.

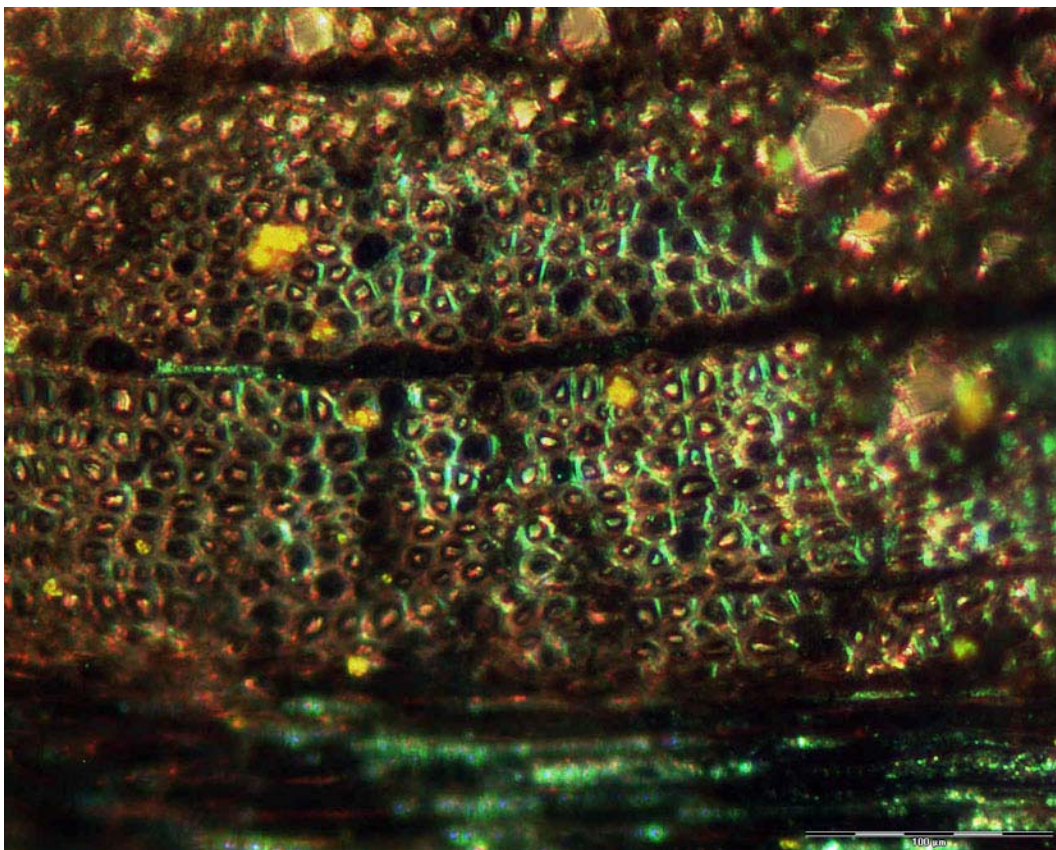


Fig. 4: 1D, fluorescerende mikroskopi.

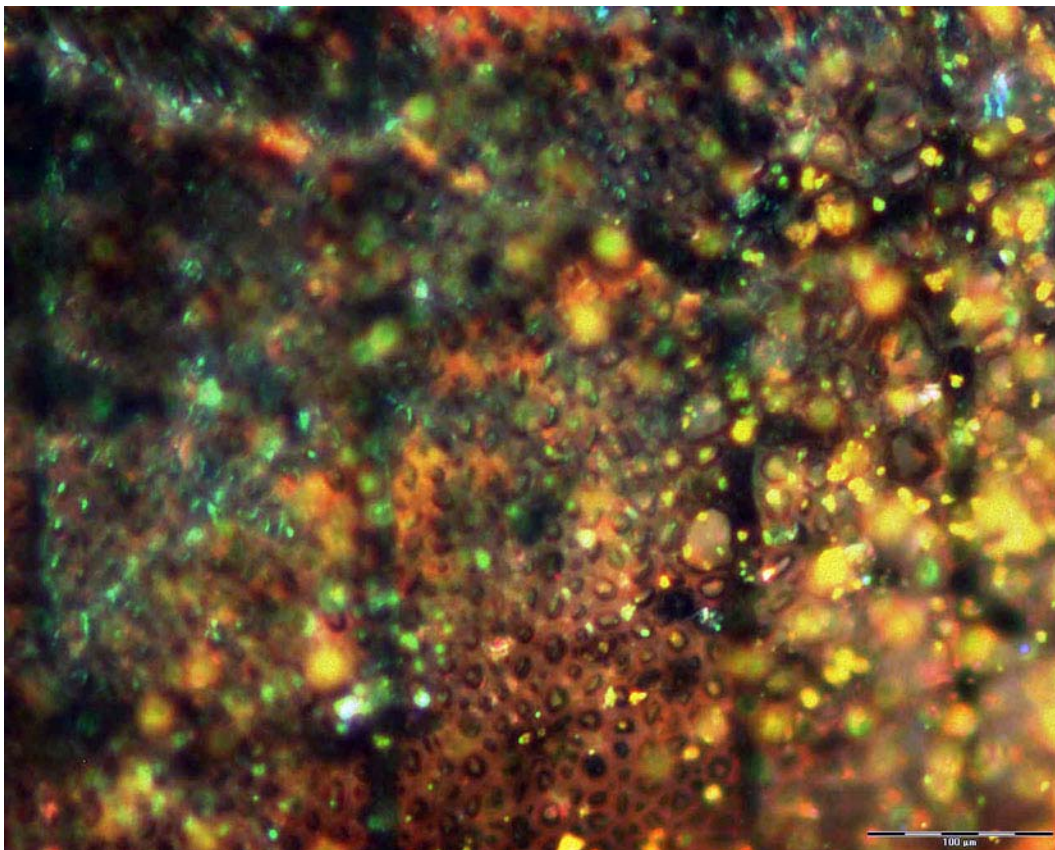


Fig. 5: 1E, fluorescerende mikroskopi. Med mye overlys for å få frem cellene.

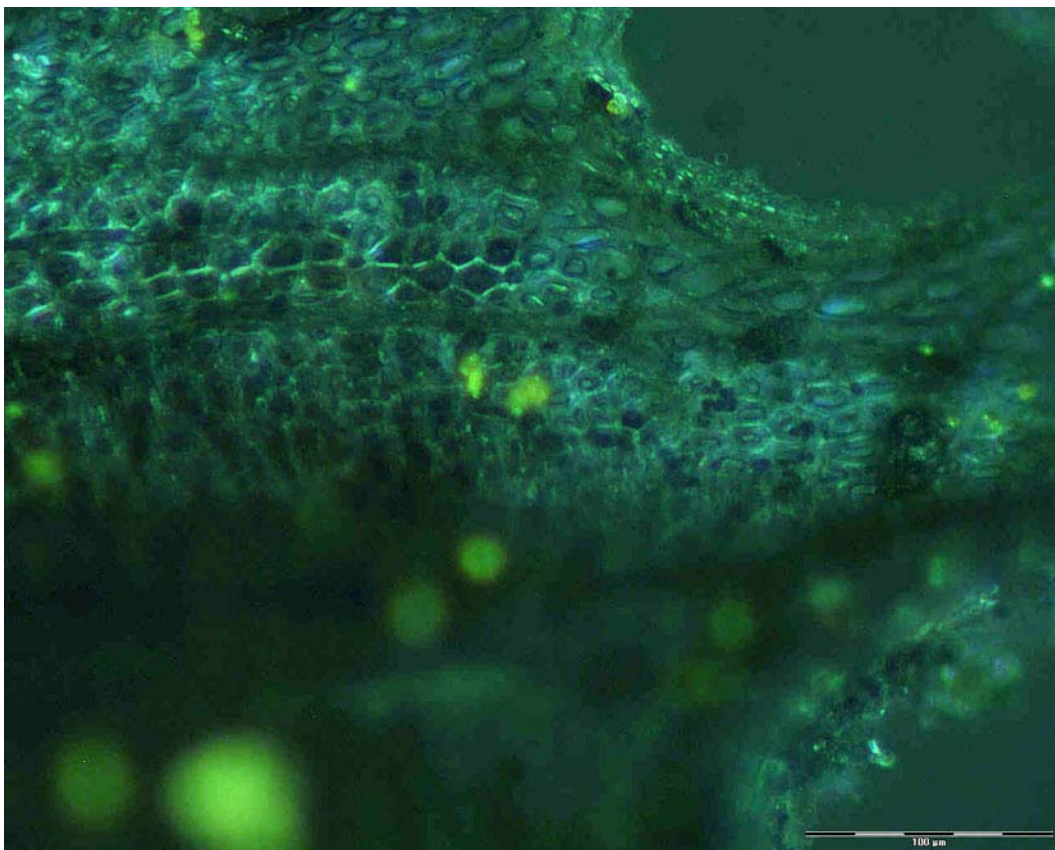


Fig. 6: 1F, fluorescerende mikroskopi.

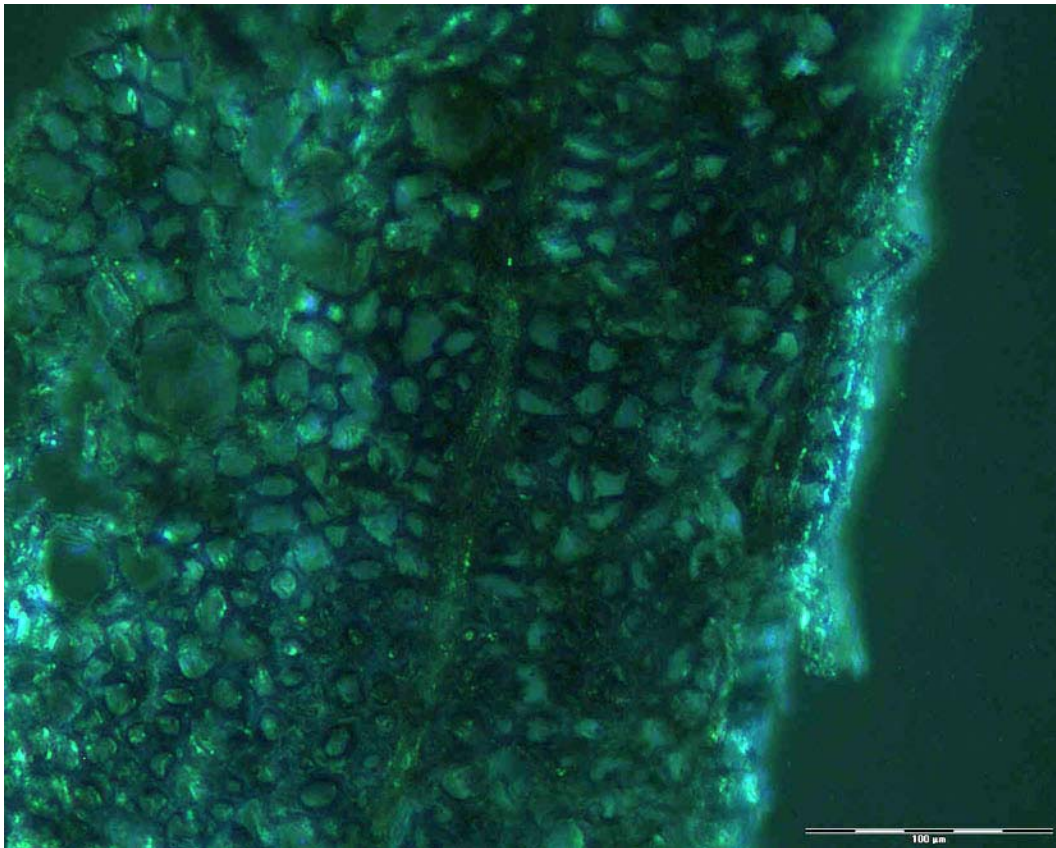


Fig. 7: 2A fluorescerende mikroskopi.

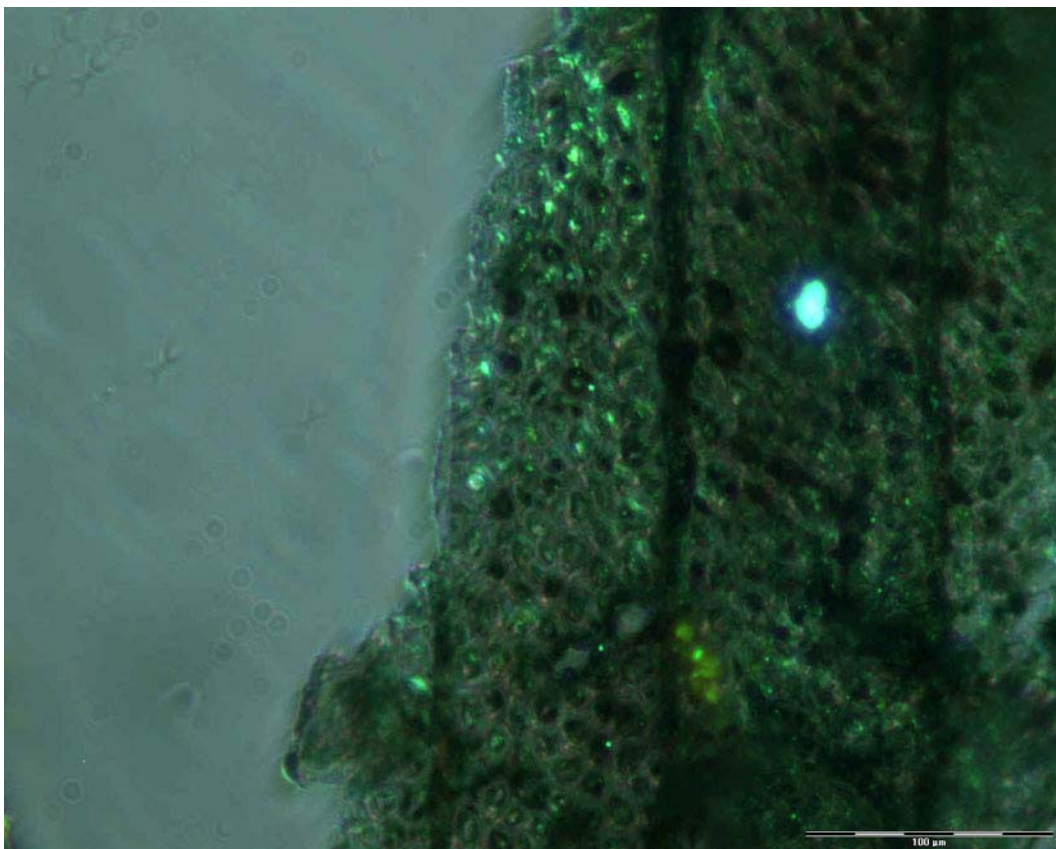


Fig. 8: 2B, fluorescerende mikroskopi.

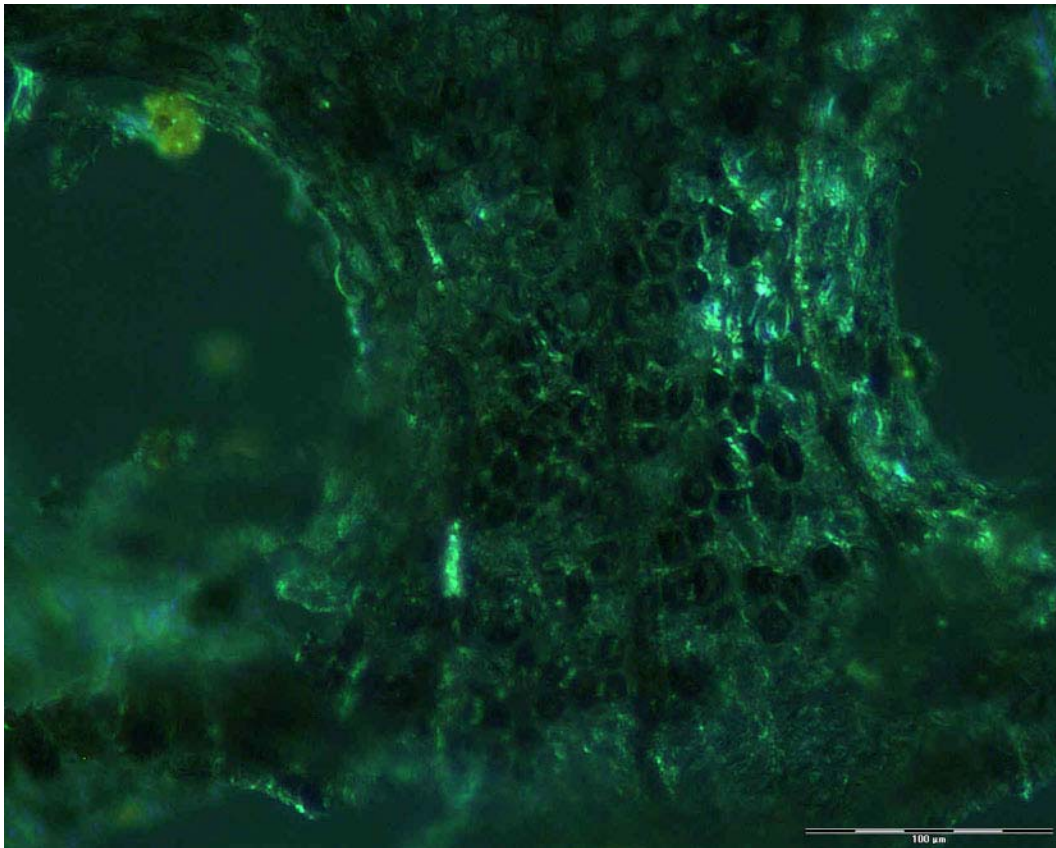


Fig. 9: 2D, fluorescerende mikroskopi.

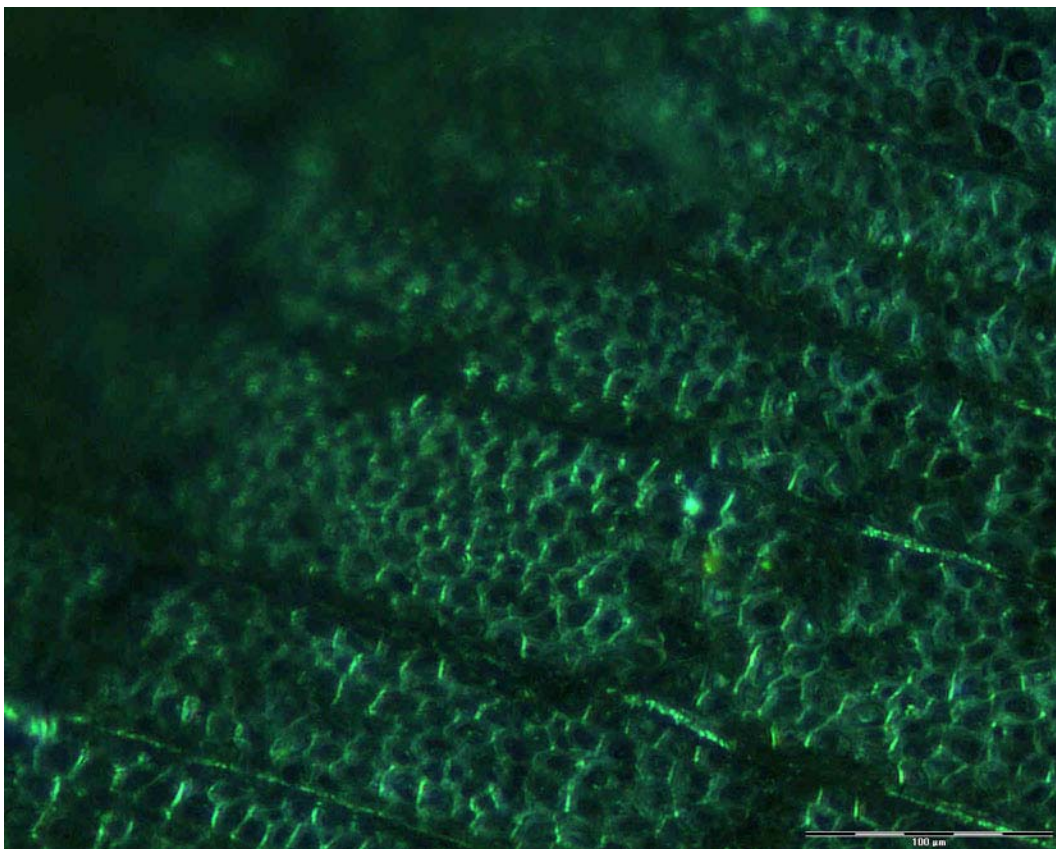


Fig. 10: 2E, Fluorescerende mikroskopi.

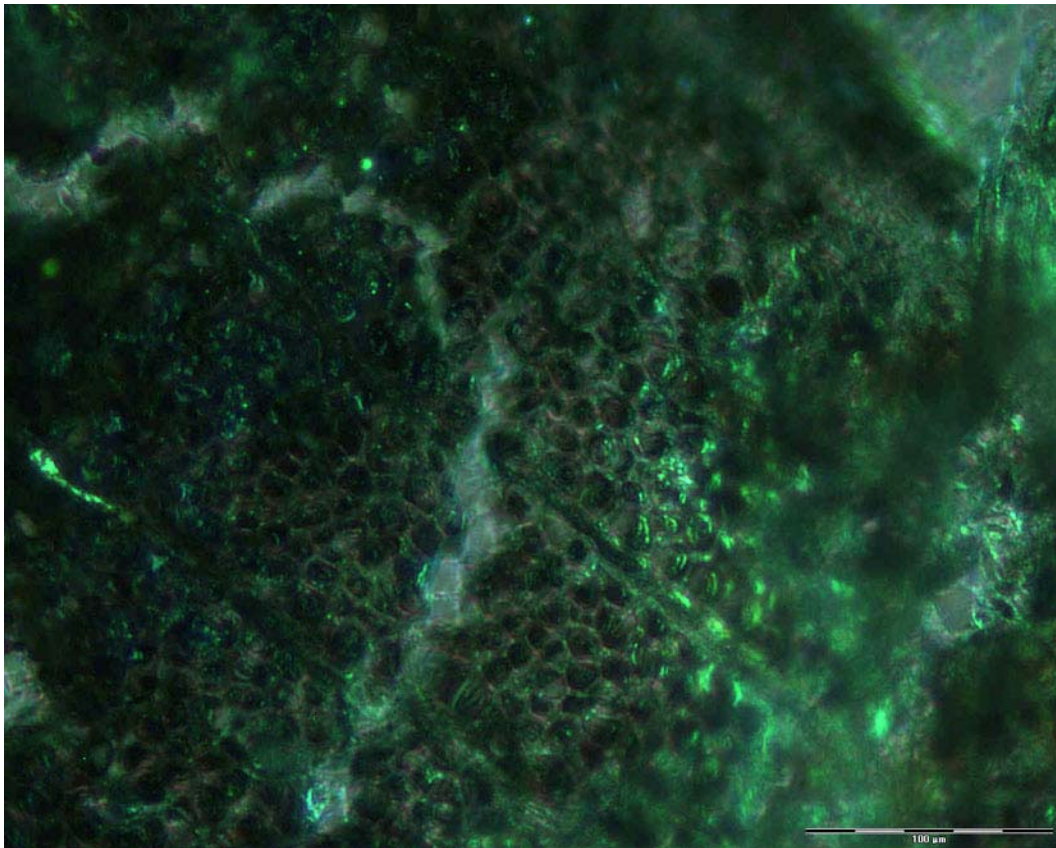


Fig. 11: 2F, fluorescerende mikroskopi.

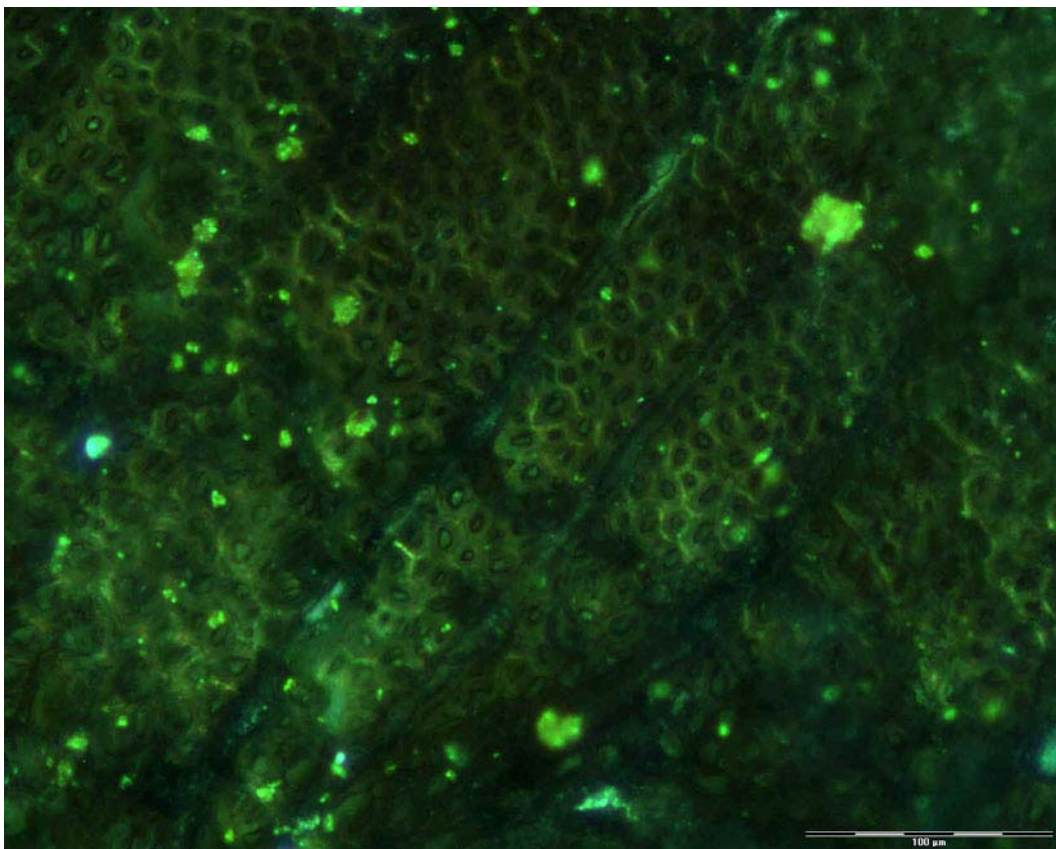


Fig. 12: 3B, fluorescerende mikroskopi.

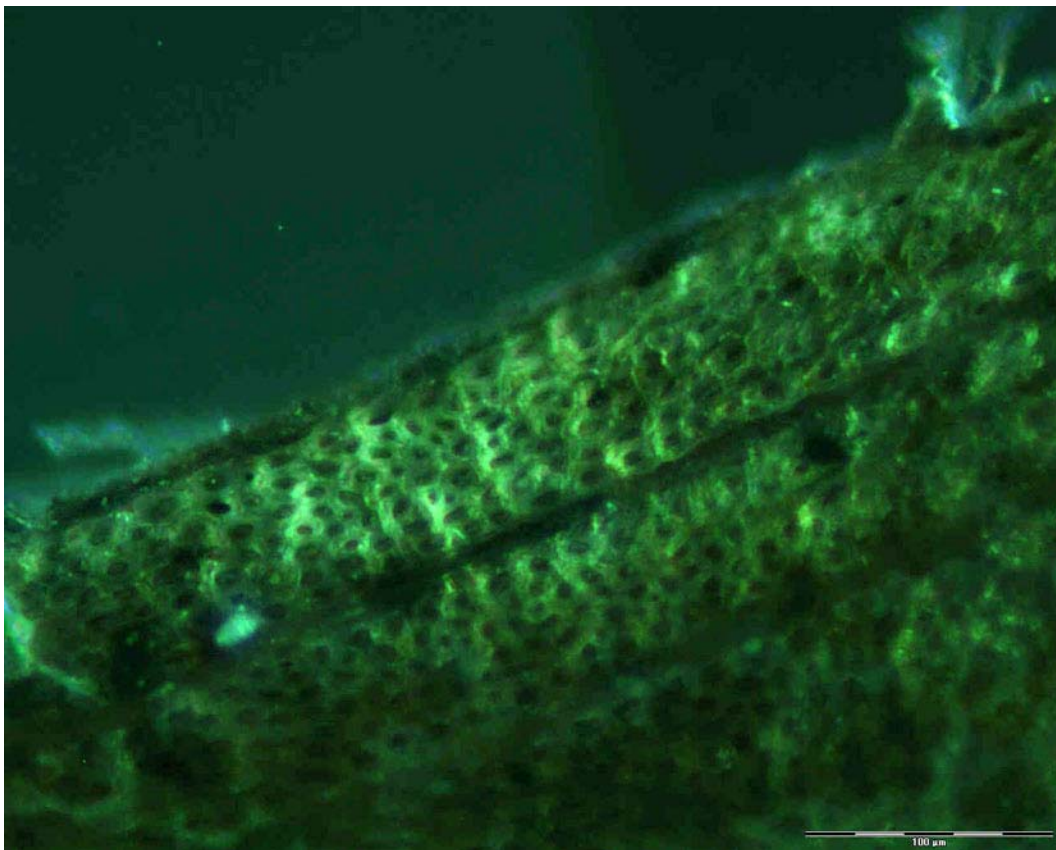


Fig. 13: 3C, fluorescerende mikroskopi.

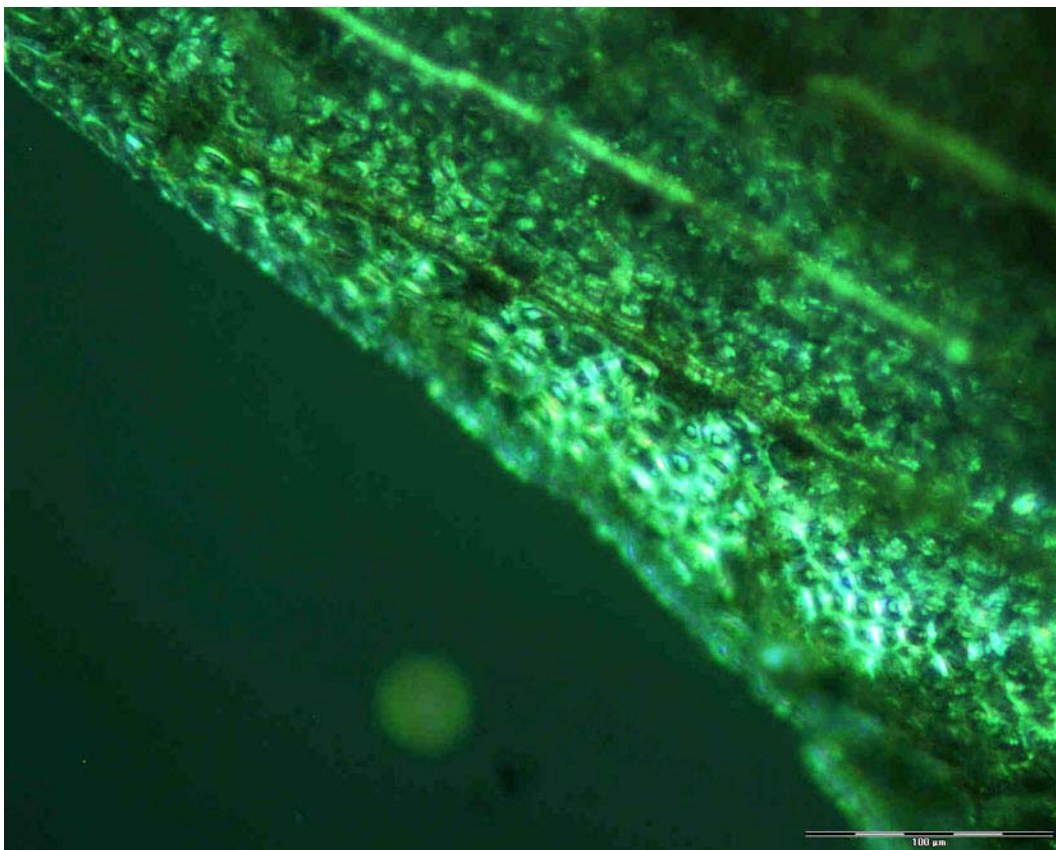


Fig. 14: 3D, fluorescerende mikroskopi.

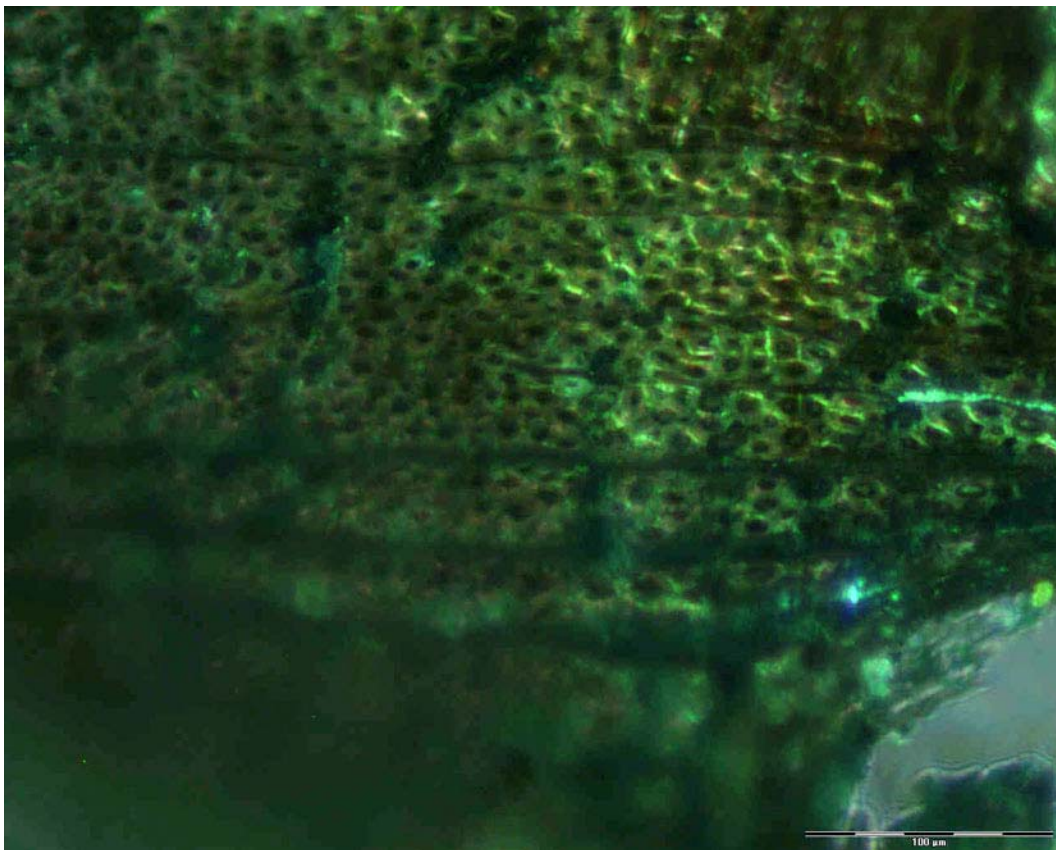


Fig. 15: 3E, fluorescerende mikroskopi.

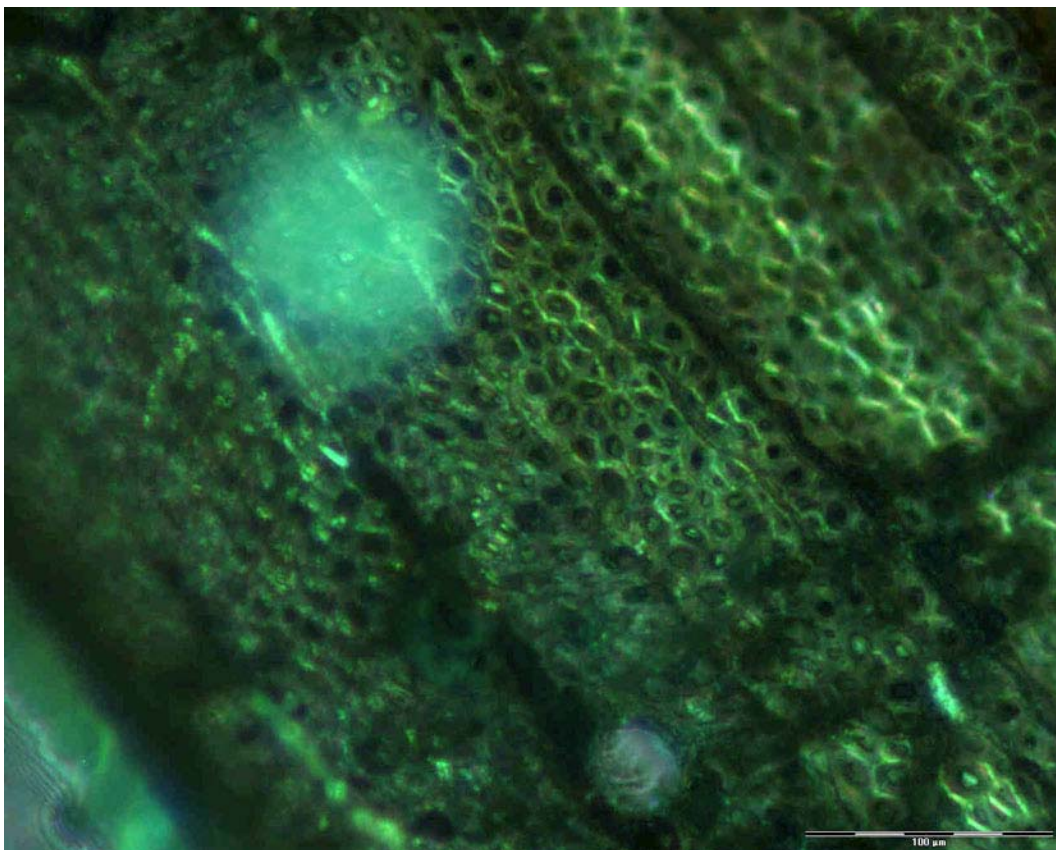


Fig. 16: 3F, fluorescerende mikroskopi.

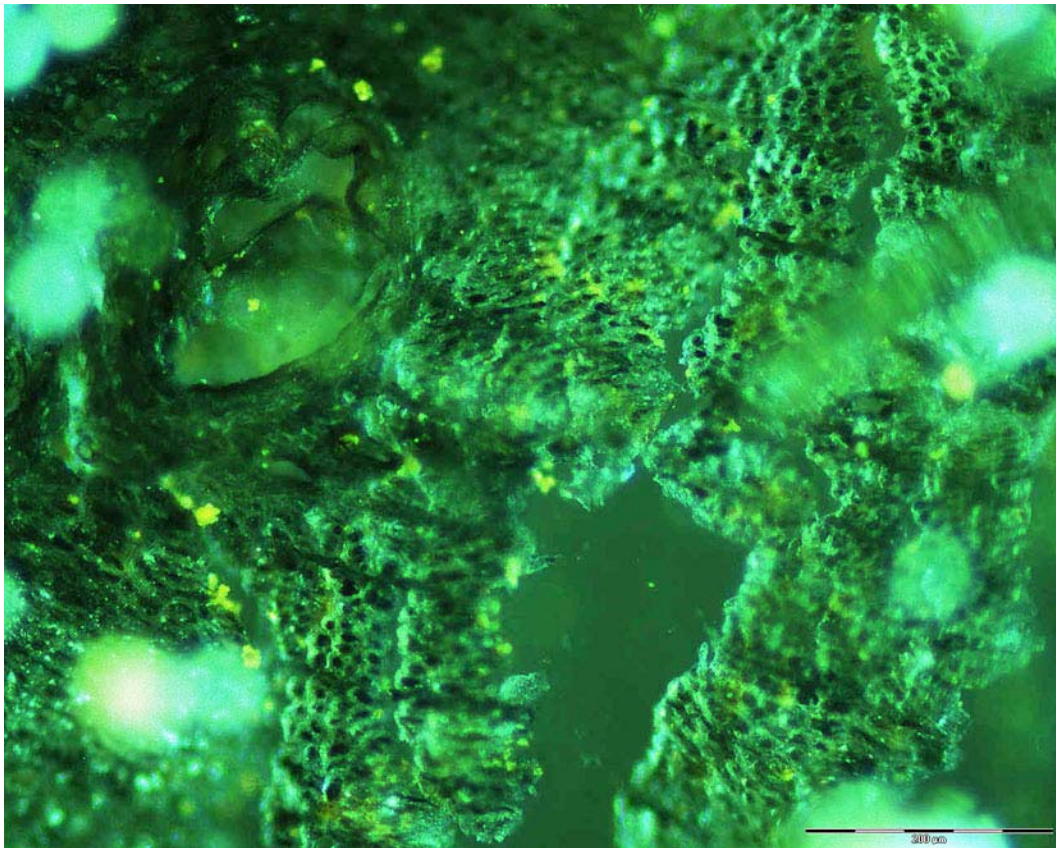


Fig. 17: Ubehandlet snitt, fluorescerende mikroskopi.

Vedlegg P: Produktinformasjon

Behandlingsprosedyre

PEG 400, Polyetylenglykol

Pris: 269,50,- NOK (1l)

$\text{HO}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n\text{H}$

Produsent: MERCK

PEG 4000, Polyetylenglykol

Pris: 325,50,- NOK (1kg)

$\text{HO}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n\text{H}$

Produsent: MERCK

Diffusjonseksperiment

Sanitær og byggsilikon 577

Pris: 39,- NOK

Nøytralherdende elastisk silokonfugemasse

Fungicid behandlet

Produsent: Danalim A/S

Forhandler: Claes Olhson

Fargeprosedyre

Dietyl eter (Etyl eter)

Pris: 54,40,- £ (1L)

Vannfri, ACS reagent $\geq 99\%$

$(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{O}$

Produsent: Sigma-Aldrich

Fenol ~ 99% (Hydroksybenzen)

Pris: 54.20 £ (500g)

$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$

Innholder 0.15% H_3PO_2 som antioksidant

Produsent: Sigma-Aldrich

Kobolt tiocyanat 99,95%

Pris: 89.90 £ (25g, glassbeholder)

$\text{Co}(\text{SCN})_2$

Produsent: Aldrich

Mikroskopisk monteringsmedium

Eukitt®

Xylene: 55%

Akrylharpiksløsning: 45%

Produsent: ProSciTech

Andre materialer

Tyvek®

High density polyethylen